

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE RAISONNEMENT CONDITIONNEL SOUS UNE CONTRAINTE DE TEMPS

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR
HUGUES LORTIE FORGUES

JUIN 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Henry Markovits pour m'avoir encouragé tout au long de mon cheminement et pour m'avoir communiqué sa grande expérience en recherche. Je remercie également Marilyn Cyr, ma conjointe, ainsi que mes parents pour le soutien qu'ils m'ont apporté. Finalement, je remercie les étudiants et assistants du laboratoire avec qui j'ai eu la chance de travailler, ainsi que le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG) et le Fonds de Recherche du Québec Nature et Technologies (FQRNT) pour leur aide financière.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	viii
RÉSUMÉ	ix
CHAPITRE I	
Cadre théorique	1
1.1 Le raisonnement.....	1
1.2 Raisonnement déductif et inductif	2
1.3 Conclusion valide.....	3
1.4 Logique déductive.....	3
1.5 Le raisonnement conditionnel.....	5
1.5.1 Les quatre formes de raisonnement conditionnel	6
CHAPITRE II	
La psychologie du raisonnement conditionnel.....	9
2.1 Introduction à la psychologie du raisonnement conditionnel.	9
2.2 L'effet de contenu	11
2.3 Les théories psychologiques du raisonnement conditionnel.....	14
2.3.1 Les théories de la Logique Naturelle	14

2.3.2	La théorie des Modèles Mentaux	17
2.3.3	Le modèle de la Récupération Sémantique.....	22
2.3.4	Les modèles probabilistes	28

CHAPITRE III

Problématique et hypothèses de recherche pour la première étude	33
-----------------------------------------------------------------------	----

3.1	Problématique de la première étude.....	33
-----	-----------------------------------------	----

3.2	Hypothèses de la première étude	34
-----	---------------------------------------	----

CHAPITRE IV

Premier article – Raisonnement conditionnel sous une contrainte de temps : récupération d'information et inhibition	35
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

4.1	Résumé du premier article	35
-----	---------------------------------	----

4.2	Abstract	36
-----	----------------	----

4.3	Introduction	37
-----	--------------------	----

4.4	Method	42
-----	--------------	----

4.4.1	Participants.....	42
-------	-------------------	----

4.4.2	Material and procedure	42
-------	------------------------------	----

4.5	Results	44
-----	---------------	----

4.6	Discussion	46
-----	------------------	----

4.7	References	50
-----	------------------	----

CHAPITRE V

Problématique et hypothèses de recherche pour la seconde étude.....	52
---------------------------------------------------------------------	----

5.1	Problématique de la seconde étude	52
-----	-----------------------------------------	----

5.2	Hypothèses de la seconde étude.....	54
-----	-------------------------------------	----

CHAPITRE VI

Deuxième article – À la recherche du modèle initial.....	55
----------------------------------------------------------	----

6.1	Résumé du second article.....	55
-----	-------------------------------	----

6.2	Abstract	57
6.3	Introduction	58
6.4	Experiment 1	63
6.4.1	Method	64
6.4.2	Results	66
6.4.3	Discussion	71
6.5	Experiment 2	73
6.5.1	Method	74
6.5.2	Results and Discussion	74
6.6	Experiment 3	76
6.6.1	Method	77
6.6.2	Results and Discussion	78
6.7	General Discussion	79
6.8	References	84
CHAPITRE VII		
	Discussion générale et conclusion	87
7.1	Discussion	87
7.1.1	Retour sur la première étude	87
7.1.2	Retour sur la seconde étude	88
7.1.3	Implications pour les théories psychologiques du raisonnement conditionnel	90
7.2	Conclusion	98
	RÉFÉRENCES	100

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1	Taux d'acceptation moyen de la conclusion (tirés de Oberauer, 2006) et prescription de la logique pour chacune des formes logiques conditionnelles 10
4.1	Mean percentage of responses for which the suggested conclusion was accepted for the MP, MT, DA, and AC inferences as a function of allotted time and premise type. 46
6.1	Number of response categories and mean percentage acceptance of all four inference forms as a function of allotted time for arbitrary premises with negations. 70
6.2	Number of response categories and mean percentage acceptance of all four inference forms as a function of allotted time for arbitrary premises without negations. 75
6.3	Number of response categories and mean percentage acceptance of all four inference forms as a function of allotted time for familiar premises without negations. 79
7.1	Trois niveaux de régression possibles et leur impact sur l'acceptation des quatre formes logiques 93

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
2.1	Un exemple de reductio ad absurdum inspiré de Rips (1994)	16
2.2	Échelle de certitude utilisée comme mode de réponse dans les études portant sur les théories probabilistes	31
7.1	Échelle de réponse utilisée dans la réplication de la première étude	98

LISTE DES ABRÉVIATIONS

MP	Modus Ponens
MT	Modus Tollens
AC	Affirmation du Conséquent
NA (DA)	Négation de l'Antécédent (Denial of the Antecedent)

RÉSUMÉ

Les deux articles présentés dans la thèse portent sur le raisonnement conditionnel. Ce type de raisonnement occupe une place importante dans la vie courante et implique de faire des inférences avec une prémisse majeure de type « Si P, alors Q » et l'une des quatre prémisses mineures possibles. Le Modus Ponens (MP : P est vrai) et le Modus Tollens (MT : Q est faux) sont deux formes logiques dites valides puisqu'elles conduisent à une seule conclusion possible. L'Affirmation du Conséquent (AC : Q est vrai) et la Négation de l'Antécédent (NA : P est faux) sont des formes logiques invalides puisque qu'elles ne conduisent pas à une seule conclusion possible.

Dans le premier article (Lortie Forgues & Markovits, 2010), nous avons évalué une prédiction tirée d'un modèle théorique développé au laboratoire (Markovits & Barrouillet, 2002) selon lequel les gens doivent inhiber l'interférence induite par la récupération d'information qui met en doute les prémisses afin de répondre logiquement aux formes valides (MP et MT). Pour tester cette hypothèse, nous avons évalué 152 participants qui ont répondu à une série aléatoire de 36 problèmes de raisonnement conditionnel (comprenant les quatre formes logiques, MP, MT, AC, NA pour chaque prémisse majeure) à l'intérieur d'un temps limité, soit avant 8,5 secondes ou avant 12,5 secondes pour chaque problème. Les résultats démontrent qu'en réduisant le temps alloué pour faire une inférence, seulement la performance aux formes MP et MT est diminuée. La performance aux formes invalides AC et NA reste, quant à elle, stable. Ces résultats sont consistants avec le modèle proposé par Markovits et Barrouillet (2002), si on assume que la réduction du temps limite spécifiquement les ressources investies dans le processus d'inhibition.

Dans le second article (Lortie Forgues & Markovits, 2012) nous avons utilisé une méthodologie similaire afin de valider un des postulats fondamentaux de la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002), une des théories les plus influentes sur le raisonnement conditionnel. Selon celle-ci, les gens raisonnent d'abord selon le modèle initial, une représentation simple menant à l'acceptation du MP et de l'AC, et complexifient leur représentation s'ils disposent des ressources cognitives nécessaires. Aucune étude ne démontre directement l'existence du modèle initial. Pour tester cette hypothèse, nous avons réalisé trois expérimentations dans lesquelles nous avons présenté à 238 participants des inférences et limité la quantité de ressources cognitives disponibles en contraignant le temps et en manipulant le niveau de familiarité du contenu des prémisses.

Dans une première expérimentation, les participants devaient résoudre des problèmes construits avec des prémisses arbitraires incluant des négations avec un temps limité de 9 s, 15 s, ou un temps illimité. Une analyse des patrons individuels de réponse a démontré qu'une proportion significative de raisonneurs répondait selon le modèle initial. Dans une seconde expérimentation, nous avons présenté des prémisses arbitraires sans négation avec un temps limité de 6 s ou 8 s. Nous avons observé une augmentation du nombre de modèles initiaux avec le temps. Finalement, dans une troisième expérimentation, nous avons présenté des prémisses familières avec un temps limité de 5 s, 7 s ou un temps illimité. Les résultats ont

démontré un nombre limité de modèles initiaux dans les trois conditions de temps. Globalement, les résultats des trois expérimentations suggèrent que ce type de modèle est davantage présent quand le contenu des prémisses est arbitraire.

CHAPITRE I

CADRE THÉORIQUE

1.1 Le raisonnement

Le terme *raisonnement* est défini comme étant le processus par lequel on tire des conclusions (Sternberg & Leighton, 2004). Une bonne partie des choses que nous faisons nécessite de tirer des conclusions. Par exemple, on raisonne, entre autres, quand on planifie quelque chose, quand on détermine les conséquences d'une hypothèse, quand on porte un jugement et quand on doit faire un choix entre deux alternatives (Byrne, 2005). L'exemple suivant démontre que le raisonnement est une fonction importante de notre vie mentale. Cet exemple illustrera également une propriété fondamentale du raisonnement.

Je vous dis qu'il est certain que : *S'il pleut, alors j'apporterai mon parapluie.*

Et que vous voyez que : *Je n'ai pas apporté mon parapluie.*

Quand on demande à quelqu'un de tirer une conclusion de ces deux affirmations, c'est-à-dire de faire un raisonnement, la majorité des gens conclura *qu'il n'a pas plu* et cette conclusion peut leur sembler évidente. Malgré son apparente simplicité, cette conclusion est toutefois loin d'être banale. En effet, cette conclusion est quelque chose de nouveau : elle n'est pas donnée explicitement dans l'information présentée précédemment (c.-à-d., les deux premières affirmations). Il ne s'agit pas d'une simple répétition d'information obtenue précédemment. Au contraire, pour générer cette conclusion, notre cerveau a dû produire quelque chose de nouveau. Cet

acte de produire quelque chose de nouveau à partir d'information existante est une propriété fondamentale du raisonnement (James, 1890).¹

1.2 Raisonnement déductif et inductif

La majorité des ouvrages traitant du raisonnement fait une distinction entre le raisonnement inductif et le raisonnement déductif. Le raisonnement inductif est décrit comme allant du « particulier au général », tandis que le raisonnement déductif est décrit comme allant du « général au particulier ». Les exemples suivants précisent cette distinction. Voici un exemple de raisonnement inductif :

Information initiale : *Tous les oiseaux que j'ai vus manger mangeaient des graines.*

Conclusion : *Alors tous les oiseaux mangent des graines.*

Un tel raisonnement est défini comme allant du particulier au général puisqu'il part d'une information particulière, dans le cas présent, l'expérience personnelle, et tire une conclusion générale. À titre de comparaison, voici un exemple d'un raisonnement déductif :

Information initiale : *Tous les humains sont mortels. Tom est un humain.*

Conclusion : *Alors Tom est mortel.*

Il s'agit dans ce cas d'un raisonnement déductif, défini comme allant du général au particulier, puisqu'on applique une propriété générale (c.-à-d., tous les hommes sont mortels), à une instance particulière de cette propriété générale (c.-à-d., Tom). Au-delà du sens de la relation (c.-à-d., du particulier au général ou du général au particulier), les deux types de raisonnement se distinguent également du fait que seul le raisonnement déductif permette de tirer des conclusions dites *valides*.

¹ Notons que dans le cas du raisonnement déductif que nous aborderons par la suite, la conclusion n'est pas entièrement nouvelle, mais plutôt une information qui était implicite dans l'énoncé du problème.

1.3 Conclusion valide

En logique, une conclusion *valide* est une conclusion qui garantit d'être vraie si l'information initiale qui a permis de tirer cette conclusion est vraie. Par exemple, si les deux énoncés suivants sont vrais :

Tous les humains doivent manger pour survivre.

Tom est un humain.

Alors, la conclusion « Tom doit manger pour survivre » est automatiquement vraie.

La possibilité de tirer des conclusions valides est un avantage du raisonnement déductif par rapport au raisonnement inductif, puisque dans une situation où nous sommes certains de l'information initiale, une conclusion valide nous garantit qu'elle sera vraie. Notons que dans le cas où l'information initiale n'est pas vraie (v.g., Tom n'est pas un humain, tel que mentionné précédemment), le raisonnement déductif ne permet pas de tirer une conclusion valide : rien ne garantit alors que la conclusion sera vraie.

Enfin, il est à noter que la conclusion tirée d'un raisonnement inductif n'est jamais valide du point de vue de la logique classique : même si l'information initiale est vraie, il n'est jamais garanti que la conclusion soit vraie. Dans l'exemple de raisonnement inductif précédent, même si l'information initiale (c.-à-d., tous les oiseaux que j'ai vus manger mangeaient des graines) est vraie, la conclusion (c.-à-d., tous les oiseaux mangent des graines) n'est pas valide. Il est possible, par exemple, qu'un oiseau ne mange pas de graines, mais plutôt de la viande.

1.4 Logique déductive

Le raisonnement déductif permet de tirer des conclusions valides. Il est toutefois important de mentionner que certains types de raisonnement s'apparentent fortement au raisonnement déductif, mais ne sont pas de nature déductive et donc ne permettent pas de conclusion valide. Pour illustrer cette particularité, comparons le

raisonnement déductif (dont la conclusion est valide) à un raisonnement qui s'apparente fortement à un raisonnement déductif, mais dont la conclusion n'est pas valide :

Exemple de raisonnement déductif avec conclusion valide.

Information initiale : *Tous les hommes sont mortels. Tom est un homme.*

Conclusion : *Alors Tom est mortel.*

Exemple de raisonnement qui s'apparente à un raisonnement déductif.

Information initiale : *Tous les hommes sont mortels. Tom est mortel.*

Conclusion : *Alors Tom est un homme.*

Bien que ces deux raisonnements puissent sembler à première vue très similaires, seul le premier est de nature déductive et permet une conclusion valide. La conclusion du second exemple n'est pas valide parce que même si l'information initiale est vraie, la conclusion peut ne pas être vraie. En effet, Tom pourrait être, par exemple, un chien.

Le fait qu'un raisonnement permette de tirer une conclusion valide est directement lié à sa *forme* logique. Par forme, on entend la position des éléments les uns par rapport aux autres dans le raisonnement. La forme s'oppose au *contenu*, qui lui, réfère aux mots imbriqués dans la forme. En logique classique, il est courant d'extraire la forme abstraite du problème en utilisant des symboles arbitraires qui illustrent la position des éléments dans le raisonnement. Cette présentation permet de s'attarder uniquement à la forme du raisonnement. Voici par exemple, la forme logique des problèmes précédents en notation abstraite.

Information initiale : *Tous les hommes sont mortels. Tom est un homme.*

Conclusion : *Alors Tom est mortel.*

Forme abstraite :

T M

t T

t M

Information initiale : *Tous les hommes sont mortels. Tom est mortel.*

Conclusion : *Donc, Tom est un homme.*

Forme abstraite :

T M

t M

t T

Bien que le contenu des deux problèmes précédents soit similaire, leur forme abstraite est distincte. Seule la forme du premier exemple permet de tirer une conclusion valide. Une partie centrale des articles de la thèse concerne la façon dont les humains différencient les problèmes déductifs valides des problèmes invalides.

1.5 Le raisonnement conditionnel

Le raisonnement conditionnel est une sous-catégorie du raisonnement déductif, qui est considéré comme étant l'une des plus importantes formes de raisonnement fréquemment utilisé par l'humain (Evans & Over, 2004). Le raisonnement conditionnel est essentiel pour exprimer, entre autres, les relations causales (v.g., si je lance une pomme dans les airs, alors elle retombera), les menaces (v.g., si tu ne fais pas le travail, alors tu dois partir), les obligations (v.g., si tu n'as pas 18 ans, alors tu ne peux pas acheter d'alcool), les promesses (v.g., si tu ranges ta chambre, alors tu auras 5 dollars) et les engagements (v.g., si je passe la balayeuse, alors tu fais la vaisselle) (Schroyens & Schaeken, 2003). Le raisonnement conditionnel occupe une place primordiale dans la vie quotidienne et conséquemment comprendre son fonctionnement est particulièrement important. Ce type de raisonnement a été le sujet de plusieurs recherches expérimentales (Evans & Over, 2004).

Dans sa forme élémentaire, le raisonnement conditionnel consiste à faire une inférence sur la base d'une première affirmation de type « si P, alors Q » qu'on appelle *prémisse majeure*. La prémisse majeure est composée de deux *propositions* (c.-à-d., un énoncé qui peut être vrai ou faux, mais qui ne peut pas être à la fois vrai et faux). La proposition, P, est appelée *l'antécédent*, et la seconde proposition, Q, est appelée le *conséquent*. La prémisse majeure est suivie d'une *prémisse mineure*, qui correspond à l'affirmation ou à la négation de l'antécédent ou du conséquent de la prémisse majeure. Notons finalement que l'ensemble composé d'une prémisse majeure et d'une prémisse mineure est fréquemment suivi d'une conclusion qu'on appelle la *conclusion invitée*. Cette organisation rend possible quatre formes de raisonnement conditionnel, dont deux mènent à une conclusion valide.

1.5.1 Les quatre formes de raisonnement conditionnel

La première forme valide est composée d'une prémisse mineure dans laquelle on affirme l'antécédent (P est vrai). Cette forme est appelée Modus Ponendo Ponens, ce qui signifie en latin « affirmer en affirmant ». Par souci de brièveté, nous référerons à cette forme sous le nom de Modus Ponens ou MP. La conclusion invitée du MP est l'affirmation du conséquent.

Sa forme logique abstraite est la suivante :

Prémisse majeure : Si P, alors Q.

Prémisse mineure : P.

Conclusion invitée : Alors Q.

Par exemple, considérons les phrases suivantes comme étant vraies : « si une carte est jaune, alors il y a un cercle sur la carte » et « une carte est jaune ». Ces deux énoncés autorisent la conclusion valide « il y a un cercle sur la carte ».

La seconde forme valide est composée d'une prémisse mineure dans laquelle on nie le conséquent (Q est faux). Cette forme se nomme Modus Tollendo Tollens (Modus Tollens ou MT dans la suite du texte) et signifie "nier en niant". La

conclusion invitée du MT est la négation de l'antécédent. La forme logique abstraite du MT est :

Prémisse majeure : Si P, alors Q.

Prémisse mineure : non-Q.

Conclusion invitée : Alors non-P.

Par exemple, avec la prémisse majeure « si une carte est jaune, alors il y a un cercle sur la carte », et la prémisse mineure « il n'y a pas de cercle sur la carte », nous pouvons tirer la conclusion valide « la carte n'est pas jaune ».

Les deux autres formes possibles de raisonnement conditionnel ne permettent pas de tirer de conclusion valide. L'une des formes se nomme l'affirmation du conséquent (AC) et est schématisée de la façon suivante :

Prémisse majeure : Si P, alors Q.

Prémisse mineure : Q.

Conclusion invitée : Alors P.

Par exemple, en considérant la prémisse majeure « si une carte est jaune, alors il y a un cercle sur la carte », et la prémisse mineure « il y a un cercle sur la carte », il n'est pas possible de tirer logiquement la conclusion « la carte est jaune », puisqu'une carte qui n'est pas jaune pourrait avoir un cercle.

La dernière des quatre formes est nommée Négation de l'antécédent (NA) et possède la forme logique abstraite :

Prémisse Majeure : Si P, alors Q.

Prémisse Mineure : non-P.

Conclusion invitée : Alors non-Q.

Par exemple, avec la prémisse majeure « si une carte est jaune, alors il y a un cercle sur la carte », l'ajout de la prémisse mineure « la carte n'est pas jaune » ne nous

permet pas de tirer la conclusion « la carte n'a pas de cercle », puisqu'une carte qui n'est pas jaune pourrait avoir un cercle.

Globalement, la conclusion invitée du AC et du NA n'est pas valide parce que la prémisses majeure spécifie uniquement que « si on a une carte jaune, alors il y a un cercle sur la carte » et non l'inverse (c.-à-d., si une carte a un cercle, alors la carte est jaune).

Dans la présente section, nous avons décrit sommairement les fondations logiques du raisonnement conditionnel. Avant de conclure, il est important d'introduire brièvement la relation biconditionnelle, qui bien qu'elle ne soit pas l'objet de la thèse, est nécessaire à la compréhension des théories et articles présentés ultérieurement. Une relation biconditionnelle, contrairement à une relation conditionnelle, est telle que si l'antécédent est vrai, alors le conséquent est vrai et si le conséquent est vrai, alors l'antécédent est vrai. Formellement, on note une relation biconditionnelle de la façon suivante : « si et seulement si P, alors Q ». Quand on fait un raisonnement sur la base d'une relation de nature biconditionnelle, les quatre formes logiques présentées précédemment (MP, AC, NA et MT) mènent à une conclusion valide.

Dans la prochaine section, nous aborderons la façon dont les humains traitent les problèmes de raisonnement conditionnel.

CHAPITRE II

LA PSYCHOLOGIE DU RAISONNEMENT CONDITIONNEL

2.1 Introduction à la psychologie du raisonnement conditionnel.

Les humains ne suivent pas de façon systématique les règles de la logique classique. Nous avons vu précédemment que, selon la logique classique, les formes logiques MP et MT mènent à une conclusion valide et les formes AC et NA mènent à des conclusions invalides. Or, quand on demande à un humain de juger si une conclusion est valide, les gens ont tendance à accepter la conclusion du MP en très haute proportion et plus fréquemment que la conclusion du MT. Également, contrairement aux prescriptions de la logique, les gens ne rejettent pas systématiquement les conclusions des formes logiques invalides AC et NA.

Afin d'illustrer plus précisément le patron de réponse des humains aux différentes formes conditionnelles, considérons un exemple tiré d'un article récent de Oberauer (2006). Le tableau suivant révèle les taux d'acceptation de la conclusion invitée pour chacune des quatre formes MP, AC, NA et MT.

Tableau 2.1
Taux d'acceptation moyen de la conclusion (tirés de Oberauer, 2006) et prescription de la logique pour chacune des formes logiques conditionnelles

Forme conditionnelle	Taux d'acceptation de la conclusion invitée	Prescriptions de la logique classique
MP	97%	Conclusion valide
MT	57%	Conclusion valide
AC	44%	Conclusion invalide
NA	38%	Conclusion invalide

Les données du Tableau 2.1 sont tirées d'une étude dans laquelle 343 participants (138 hommes, 199 femmes, âge moyen de 28 ans) ont résolu huit problèmes conditionnels (soit deux problèmes de chaque forme conditionnelle). On remarque que le taux d'acceptation du MP est très élevé, soit 97%. À l'inverse, le taux d'acceptation du MT est de seulement 57%. Ce dernier résultat est éloigné de ce que la logique classique prescrit, puisque le MT possède une conclusion valide et devrait donc être accepté tout autant que le MP. Une autre distinction entre les résultats expérimentaux et les prescriptions de la logique classique concerne les deux formes invalides AC et NA qui sont acceptées à 44% et 38% respectivement. Selon la logique, la conclusion de ces deux formes ne devrait jamais être acceptée comme étant valide.

Une première précision est nécessaire concernant la méthode d'évaluation utilisée dans cette étude. Dans l'étude, on présentait aux participants une prémisse majeure suivie d'une prémisse mineure et on leur demandait de tenir ces prémisses comme étant vraies et de baser leur raisonnement sur celles-ci. Les participants devaient évaluer une conclusion invitée présentée en la catégorisant comme étant valide ou non, compte tenu des prémisses. Il est important de noter que, lorsque la conclusion est fournie au participant, il s'agit de la conclusion invitée. Tel que

mentionné dans la section précédente, les conclusions invitées sont valides dans le cas du MP et MT et ne sont pas valides dans le cas du AC et du NA. Ce type de présentation est fréquent dans les recherches sur le raisonnement, les deux études de la thèse utiliseront ce mode de présentation. Mentionnons toutefois que ce type de présentation n'est pas universel. En effet, certaines études demandent, par exemple, aux participants de *produire* eux-mêmes la conclusion (Evans & Over, 2004) ou d'indiquer, sur une échelle graduée, leur niveau de certitude dans la conclusion (v.g., Oaksford, Chater, & Larkin, 2000).

Une seconde précision concerne le contenu utilisé dans l'étude. Le contenu des problèmes utilisé dans l'expérience décrivait des relations arbitraires entre des formes géométriques et des couleurs (v.g., si le carré est rouge, alors le cercle est blanc). On appelle ce type de contenu *neutre*, c'est-à-dire que le contenu des prémisses était indépendant du bagage de connaissances des participants (Johnson-Laird & Byrne, 2002). Il est important de noter que l'utilisation d'un contenu différent, tel qu'un contenu *familier*, c'est-à-dire un contenu qui fait référence à des choses connues du participant, aurait pu changer radicalement le patron de réponse des participants². La variation de performance causée par la variation du contenu des problèmes est nommée « effet de contenu » et est centrale aux articles de la thèse.

2.2 L'effet de contenu

Tel que mentionné précédemment, le *contenu* réfère aux mots utilisés dans les problèmes et se différencie de la *forme*, qui elle réfère à la position des éléments dans les problèmes. Les deux peuvent être manipulés de façon indépendante. En effet, il est possible pour une même forme logique d'avoir deux contenus distincts et vice versa, le même contenu pour deux formes logiques différentes.

² Notons que l'utilisation de divers types de contenu familier peuvent engendrer des patrons de réponse distincts qui peuvent se rapprocher ou s'éloigner du patron de réponse prescrit par la logique classique.

Il existe une vaste littérature visant à déterminer les différentes interactions entre le contenu des problèmes et la performance au raisonnement. Plusieurs facteurs en lien avec le contenu ont démontré une influence sur le raisonnement, tel que la vérité empirique de la conclusion (v.g., Evans, Barston, & Pollard, 1983), le type de relations conditionnelles (v.g., les permissions et les obligations; Cheng & Holyoak, 1985) et même la valence émotionnelle du contenu (v.g., Blanchette, Richards, Melnyk, & Lavda, 2007). Parmi les différentes influences, deux facteurs sont grandement pertinents aux articles de la thèse: les *conditions contraignantes* et les *alternatives à l'antécédent*.

Une condition contraignante est une information qui, lorsqu'elle est ajoutée à l'information présente dans la prémisse majeure initiale, empêche le conséquent d'être vrai quand l'antécédent est vrai. Par exemple, en considérant la prémisse « s'il pleut, alors Pierre sera mouillé », une condition contraignante potentielle pourrait être : « Pierre a un parapluie ». Cette condition contraignante permet à la fois à l'antécédent « il pleut » d'être vrai, et au conséquent « Pierre sera mouillé » d'être faux.

Les alternatives à l'antécédent sont, quant à elles, des antécédents, différents de celui de la prémisse, qui peuvent produire par eux-mêmes le conséquent de la prémisse. Ainsi, dans le cas d'une prémisse conditionnelle décrivant un lien de cause à effet, une alternative à l'antécédent serait une cause, différente de celle présentée dans la relation, qui peut par elle-même produire l'effet. Par exemple, dans le cas de la prémisse causale « si je lance une roche dans la fenêtre, alors la fenêtre cassera », une façon alternative de casser une fenêtre serait « lancer une chaise dans la fenêtre ». Lancer une chaise est ici une alternative à l'antécédent.

Plusieurs études ont évalué l'influence des conditions contraignantes et des alternatives à l'antécédent sur la performance en tâche de raisonnement. Parmi les différents effets notés, un lien robuste est observé entre la présence de conditions contraignantes et l'acceptation des conclusions aux problèmes valides MP et MT.

Plus spécifiquement, la présence de conditions contraignantes diminue le taux d'acceptation des conclusions à ces problèmes (Cummins, 1995; Cummins, Lubart, Alksnis, & Rist, 1991; De Neys, Schaeken, & d'Ydewalle, 2002; Vadeboncoeur & Markovits, 1999). Une relation positive est également observée entre la présence d'alternatives à l'antécédent et l'acceptation des conclusions aux formes invalides AC et NA (Cummins, 1995; Cummins et al., 1991; Janveau-Brennan & Markovits, 1999; Markovits & Vachon, 1990; Thompson, 1994).

Il est important de mentionner que l'influence des conditions contraignantes et des alternatives à l'antécédent a été démontrée autant quand ces types d'information sont présentés explicitement (Byrne, 1989; Markovits, 1984) que lorsque le contenu des problèmes est spécifiquement choisi pour évoquer ce type d'information en mémoire (Cummins et al., 1991). En effet, il est possible de générer un contenu qui évoque différents niveaux de conditions contraignantes. À titre d'exemple, la prémisse « si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre cassera » évoque plusieurs conditions contraignantes (v.g., petite roche, vitre en plastique, etc.). Au contraire, la prémisse « si on chauffe de l'eau à 100°C, alors l'eau bouillera » évoque peu de conditions contraignantes. Il est également possible de générer des problèmes dont le contenu évoque un niveau variable d'alternatives à l'antécédent. Par exemple, la prémisse « si Marie saute dans la piscine, alors elle sera mouillée » évoque beaucoup d'alternatives à l'antécédent (v.g., il pleut, Marie prend sa douche, etc.). En comparaison, il est difficile de trouver des alternatives à l'antécédent pour la prémisse « si un chien a des puces, alors il se grattera constamment ».

Une façon de générer le contenu des exemples précédents est de présenter à un groupe de participants une série de prémisses majeures conditionnelles en leur demandant de générer le plus de conditions contraignantes ou d'alternatives à l'antécédent. En évaluant les productions des participants, il est ensuite possible de classer les prémisses comme évoquant beaucoup ou peu de conditions contraignantes ou d'alternatives à l'antécédent.

L'influence du contenu dans le raisonnement est au cœur des deux articles présentés dans la thèse. Dans la prochaine section, nous décrirons quatre théories psychologiques du raisonnement pertinentes à la compréhension des deux articles.

2.3 Les théories psychologiques du raisonnement conditionnel

Tel que nous l'avons abordé précédemment, la performance des humains aux tâches de raisonnement est différente des prescriptions de la logique classique et celle-ci est influencée par le contenu et non seulement par la forme logique des problèmes. Plusieurs modèles théoriques tentent d'expliquer la façon dont nous effectuons des raisonnements conditionnels. Dans la présente section, nous présenterons les quatre modèles les plus pertinents à la compréhension des articles de la thèse. Nous commencerons par décrire le modèle de la Logique Naturelle (Braine & O'Brien, 1991; Rips, 1983, 1994) suivi de la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002), de la théorie de la Récupération Sémantique (Markovits & Barrouillet, 2002) et finalement des théories probabilistes (Evans & Over, 2004; Oaksford et al., 2000).

2.3.1 Les théories de la Logique Naturelle

Selon la théorie de la Logique Naturelle (Braine & O'Brien, 1991; Rips, 1983, 1994), également appelée Logique Mentale, le raisonnement se réalise en appliquant une série de règles syntaxiques (aussi appelées schémas) emmagasinées en mémoire à long terme (Braine & O'Brien, 1991). Ces règles sont similaires aux règles d'une démonstration mathématique, c'est-à-dire qu'elles s'appliquent sur la forme et non sur le contenu du problème.

Le fonctionnement des règles est le suivant : quand une proposition est compatible avec une règle, la règle est appliquée et celle-ci génère une nouvelle proposition. Cette nouvelle proposition peut alors être évaluée à nouveau par une autre règle compatible avec sa nouvelle configuration. Cette routine d'application de

règles est exécutée en boucle jusqu'à ce qu'aucune règle ne soit compatible avec la proposition résultante ou que la proposition générée corresponde à la conclusion suggérée dans le problème. Ce principe d'application récursive de règles syntaxiques est calqué sur la méthode de démonstration mathématique. Notons finalement que la théorie postule l'existence d'un processus d'interprétation qui précède l'application des règles et dont la fonction est de traduire le problème dans une forme sur laquelle pourront s'appliquer les règles syntaxiques.

Selon la théorie, deux règles syntaxiques sont pertinentes pour l'étude du raisonnement conditionnel. La première règle est nommée « si-élimination » et se définit formellement comme suit : si une proposition de forme « si P, alors Q » est présente dans un domaine donné et que la proposition « P » est également présente dans ce domaine, alors la proposition « Q » peut automatiquement être ajoutée à ce domaine (Rips, 1994). En d'autres mots, dès que nous avons une phrase conditionnelle de la forme « si P, alors Q », et que l'antécédent « P » de la phrase conditionnelle est présent, alors la règle nous permet automatiquement de conclure que le conséquent « Q » est présent. La seconde règle, nommée « schéma de preuve conditionnelle » (ou « si-introduction ») permet d'affirmer « si P, alors Q » lorsque « P » est toujours accompagné de « Q ». Même si cette règle est en lien avec le raisonnement conditionnel, elle n'est pas directement impliquée dans la résolution des quatre formes conditionnelles simples pertinentes aux articles de la thèse.

Comme il est possible de le constater, la règle « si-élimination » permet de tirer directement la conclusion d'un MP. À l'inverse, la résolution des autres formes conditionnelles ne peut pas être réalisée par l'application d'une règle unique. Pour la résolution des formes invalides (AC et NA) la théorie prédit que la réponse par défaut est un refus de la conclusion parce qu'aucune règle n'est compatible avec la syntaxe de ces formes. La théorie mentionne toutefois que certains raisonneurs vont interpréter fautivement la prémisse conditionnelle « si P, alors Q » comme étant équivalente à la relation « si Q, alors P » (ou dans le cas du NA, « si non-P, alors non-

Q »). En appliquant la règle « si-élimination », ces raisonneurs concluront donc, à tort, que « P » est présent quand « Q » est présent (ou dans le cas du NA, que « non-Q » est présent quand « non-P » est présent).

Finalement, dans le cas du MT, la théorie de la Logique Naturelle décrit deux façons distinctes de résoudre cette inférence. Selon la théorie, les raisonneurs ayant peu d'expérience, particulièrement les jeunes enfants, interpréteront la relation conditionnelle comme étant équivalente à la relation « si non-Q, alors non-P » et cette interprétation les mènera à accepter automatiquement la conclusion suggérée. En comparaison, les raisonneurs plus expérimentés utiliseront une technique plus complexe nommée « *reductio ad absurdum* » (c.-à-d., réduction à l'absurde). Cette technique se résume à ceci : « si P est vrai, alors Q devrait être vrai, mais si Q n'est pas vrai, alors P doit être faux. ». La Figure 2.1 présente un exemple de l'utilisation de cette technique.

Si une carte est jaune, alors il y a un cercle sur la carte.	(Prémisse majeure)
Il n'y a pas de cercle sur la carte.	(Prémisse mineure)
La carte est jaune.	(Supposition)
Il y a un cercle sur la carte.	(Par la règle si-élimination)
La carte n'est pas jaune.	(Reductio ad absurdum)

Figure 2.1 Un exemple de *reductio ad absurdum* inspiré de Rips (1994)

Compléter la technique de *reductio ad absurdum* avec succès mène à l'acceptation de la conclusion suggérée. Toutefois, cette technique requiert plusieurs étapes, ce qui, selon la théorie, rend son utilisation complexe et propice aux erreurs. L'acceptation de la conclusion n'est donc pas garantie. Cette situation permet à la théorie de faire une prédiction contre-intuitive selon laquelle la performance au MT en fonction de l'âge devrait suivre une parabole renversée (c.-à-d., une courbe en U). En effet, les jeunes enfants devraient accepter la conclusion suggérée en interprétant la prémisse conditionnelle présentée comme étant équivalente à la relation « si non-P, alors non-Q »; à l'inverse, les plus vieux, mais peu expérimentés, devraient refuser la

conclusion parce qu'ils échouent la technique complexe de *reductio ad absurdum*; finalement, les raisonneurs experts devraient accepter la conclusion sur la base d'une technique de *reductio ad absurdum* réussie. Des résultats empiriques appuient cette prédiction en démontrant que de jeunes enfants obtiennent une meilleure performance au MT que des adultes peu entraînés (O'Brien & Overton, 1982; Romain, Connell, & Braine, 1983; Wildman & Fletcher, 1977).

La théorie de la Logique Naturelle a eu un impact considérable sur la compréhension du raisonnement conditionnel. Malgré tout, peu de recherches s'attardent présentement à cette théorie et par conséquent, la théorie n'est pas actualisée et ne permet donc pas de rendre compte des nouveaux résultats empiriques. Les prochaines théories abordées seront plus actuelles. La première est la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002) qui est considérée comme étant la théorie la plus influente de la psychologie du raisonnement (Evans & Over, 2004).

2.3.2 La théorie des Modèles Mentaux

La théorie des Modèles Mentaux a été développée par Johnson-Laird et Byrne (1991). Contrairement à la théorie de la Logique Naturelle, la théorie des Modèles Mentaux ne considère pas le raisonnement comme étant une application de règles abstraites innées, mais plutôt comme étant l'examen de possibilités logiques.

La théorie suggère que le raisonnement conditionnel débute par la construction de modèles qui correspondent aux états possibles de la prémisse majeure. Plus spécifiquement, un modèle est constitué de symboles correspondant aux propositions de la prémisse (l'antécédent et le conséquent dans le cas d'une prémisse conditionnelle). Par exemple, voici le modèle mental d'une prémisse causale représentant un état dans lequel l'antécédent et le conséquent sont tous deux présents :

P Q

Dans ce modèle, « P » représente l'antécédent et « Q » représente le conséquent. À titre de comparaison, voici un modèle dans lequel seul le conséquent de la prémisse est présent. Le symbole « \neg » est utilisé pour signifier l'absence, dans ce cas l'absence de l'antécédent.

$\neg P$ Q

Lorsqu'ils raisonnent, la théorie postule que les gens construisent un seul modèle mental à la fois. Dans une première étape, les raisonneurs commencent par construire la représentation la plus simple possible de la prémisse majeure. On nomme cette représentation le *modèle initial*. Schématiquement ce modèle ressemble à ceci :

P Q

...

Le modèle initial est un modèle dans lequel l'antécédent « P » et le conséquent « Q » sont tous les deux présents. Les trois points représentent, quant à eux, une note indiquant qu'il existe d'autres possibilités qui ne sont pas encore explicitées et dans lesquelles l'antécédent est absent (Johnson-Laird, Legrenzi, Girotto, Legrenzi, & Caverni, 1999). Cette note est généralement rapidement oubliée, mais si elle est conservée, le raisonneur peut alors progressivement étayer sa représentation initiale en rendant explicites d'autres modèles. Ainsi, en ajoutant un second modèle au modèle initial, les raisonneurs peuvent construire une représentation nommée « biconditionnelle »:

P Q

$\neg P$ $\neg Q$

En ajoutant un troisième modèle, les raisonneurs peuvent générer une représentation dite « conditionnelle » :

P Q

$\neg P \quad \neg Q$

$\neg P \quad Q$

Bien que les raisonneurs ne génèrent pas toujours tous les modèles possibles, la théorie laisse croire que ceux-ci possèdent une connaissance préalable des différents modèles qu'ils peuvent générer pour étayer leur représentation initiale (Weidenfeld, Oberauer, & Hornig, 2005). Selon la théorie, les raisonneurs auraient en mémoire une définition abstraite de la relation conditionnelle, qui préciserait les modèles compatibles avec cette relation. En ce sens, la théorie postule que les raisonneurs ne génèrent jamais le modèle dans lequel l'antécédent est présent et le conséquent est absent (c.-à-d., le modèle $P \neg Q$), car celui-ci n'est pas consistant avec la relation conditionnelle (Johnson-Laird, 1999):

Une fois les modèles mentaux générés, les raisonneurs valideront la conclusion invitée en examinant tous les modèles construits qui sont pertinents, avec comme critère décisionnel que la conclusion sera acceptée si elle est présente dans au moins un modèle et qu'elle n'est pas contredite par au moins un modèle (Johnson-Laird & Byrne, 1991). Ce principe de validation de la conclusion est nommé « la recherche de modèles alternatifs ». Si la recherche d'un modèle qui contredit la conclusion est infructueuse, alors le raisonneur considère que la conclusion est valide. Dans le cas contraire, le raisonneur considère que la conclusion est invalide. Notons que si aucune conclusion invitée n'est présentée au raisonneur, celui-ci effectuera le processus de validation sur une conclusion provisoire qu'il aura lui-même générée (Johnson-Laird & Bara, 1984).

Un facteur déterminant qui explique la variation dans la performance aux tâches de raisonnement conditionnel est le nombre de modèles que le raisonneur doit manipuler. La théorie postule que la mémoire de travail limite le nombre de modèles que les raisonneurs peuvent traiter et, en conséquence, les raisonneurs ont tendance à utiliser le moins de modèles possible. Puisque le modèle initial ne contient qu'une représentation explicite de « P » et « Q », une personne raisonnant uniquement sur la

base du modèle initial devrait accepter la conclusion suggérée du MP et du AC. À l'inverse, puisque le modèle initial ne contient pas de représentation explicite de « $\neg P$ » ou de « $\neg Q$ », aucun modèle n'est utilisable pour résoudre les formes contenant une négation (NA et MT). Il est impossible de dériver une conclusion pour ces deux formes. Si le raisonneur étaye sa représentation initiale et construit une représentation biconditionnelle (deux modèles), alors le raisonneur devrait considérer comme valide la conclusion des quatre formes conditionnelles. En suivant la même analyse, si le raisonneur a construit une représentation conditionnelle (trois modèles), alors il devrait considérer comme valides le MP et le MT, mais rejeter les formes AC et NA.

Le principe selon lequel le nombre de modèles traités est limité par les ressources cognitives, est un aspect central à la théorie des Modèles Mentaux pertinent au second article de la thèse. Parmi les évidences les plus convaincantes supportant ce postulat on retrouve l'étude développementale conduite par Barrouillet et Lecas (1999). Dans cette étude, on présentait à des enfants des prémisses conditionnelles telles que « si tu portes un chandail blanc, alors tu portes un pantalon vert ». On présentait également aux enfants des cartes de deux types : (1) des cartes sur lesquelles était dessiné l'antécédent ou une variante de l'antécédent (v.g., un chandail blanc, un chandail rouge, etc.) et (2) des cartes sur lesquelles était dessiné le conséquent ou une variante du conséquent (v.g., un pantalon vert, un pantalon bleu, etc.). On demandait ensuite aux enfants de produire toutes les paires possibles composées d'une carte « chandail » et d'une carte « pantalon » en tenant compte de la prémisse présentée initialement. Cette manipulation a démontré que les combinaisons générées par les enfants étaient consistantes avec les trois interprétations postulées dans la théorie des Modèles Mentaux (c.-à-d., l'interprétation initiale, biconditionnelle et conditionnelle). En effet, les enfants produisaient des paires correspondant au modèle « PQ » (v.g., chandail blanc et pantalon vert), au modèle « P-Q » (v.g., chandail blanc et pantalon bleu), ainsi qu'au modèle « $\neg P \neg Q$ » (v.g.,

chandail rouge et pantalon bleu). De plus, le nombre de modèles différents produits était corrélé positivement avec l'âge des enfants et avec une mesure de mémoire de travail (une épreuve d'empan de comptage; Case, Kurland, & Goldberg, 1982). Ces résultats appuient l'idée que les humains ont une connaissance abstraite des modèles compatibles avec un problème conditionnel. Ces résultats appuient également l'hypothèse selon laquelle le nombre de modèles traités est limité par la mémoire de travail.

La version de la théorie décrite jusqu'à maintenant vise à rendre compte de la performance aux tâches de raisonnement dans lesquelles les prémisses sont construites avec un contenu neutre. À la lumière des évidences sur l'effet de contenu rapportées précédemment, les auteurs de la théorie ont développé une extension qui vise à expliquer le raisonnement avec des prémisses au contenu familier. Les auteurs ont nommé cette extension « la modulation pragmatique » (Johnson-Laird & Byrne, 2002).

L'idée générale derrière la modulation pragmatique est la suivante : les connaissances en mémoire influencent la construction des modèles et peut faire en sorte que le raisonneur ajoute ou retranche des modèles de sa représentation. Supposons par exemple la prémisse suivante : « si aujourd'hui c'est lundi, alors aujourd'hui c'est mardi ». Selon la théorie des Modèles Mentaux, les participants ne généreront pas le modèle initial suivant :

Aujourd'hui c'est lundi Aujourd'hui c'est mardi

Ce modèle initial ne sera pas généré parce qu'il est en conflit avec la connaissance que « aujourd'hui » ne peut pas être à la fois lundi et mardi. Ce modèle est donc soustrait de la représentation du raisonneur et substitué par un modèle compatible avec les connaissances qui, dans le cas présent, représente l'antécédent comme étant vrai et le conséquent comme étant faux :

Aujourd'hui c'est lundi \neg Aujourd'hui c'est mardi

Sans le modèle initial dans lequel l'antécédent et le conséquent sont tous deux présents, aucune conclusion valide ne peut être tirée pour le MP. En effet, lorsqu'un tel problème est présenté à des participants, peu d'entre eux acceptent la conclusion du MP (Johnson-Laird & Byrne, 2002). Ce cas illustre le principe de modulation pragmatique, soit la façon dont les connaissances en mémoire influencent le raisonnement par la soustraction et l'addition de modèles mentaux.

Markovits et Barrouillet (2002) ont développé une variante de la théorie des Modèles Mentaux, le modèle de la Récupération Sémantique, qui propose une manière différente d'expliquer la façon dont les connaissances influencent le raisonnement. Ce modèle est particulièrement pertinent puisqu'il est au cœur des articles de la thèse.

2.3.3 Le modèle de la Récupération Sémantique

Tout comme la théorie des Modèles Mentaux, le modèle de la Récupération Sémantique de Markovits et collègues (Markovits & Barrouillet, 2002; Markovits, Fleury, Quinn, & Venet, 1998; Markovits & Quinn, 2002) prétend que le raisonnement se fait sur la base de modèles qui représentent des possibilités. La théorie se distingue toutefois par le fait qu'elle attribue un rôle central aux connaissances empiriques, c'est-à-dire les connaissances qui proviennent de l'expérience personnelle du raisonneur. En effet, contrairement à la théorie des Modèles Mentaux, la théorie de la Récupération Sémantique prétend que les modèles utilisés par les raisonneurs sont directement issus des connaissances empiriques en mémoire.

Selon la théorie deux types de connaissances empiriques influencent le raisonnement: les conditions contraignantes et les alternatives à l'antécédent. Tel que mentionné dans l'introduction, une condition contraignante est une condition qui, lorsqu'elle est jointe à l'antécédent d'une prémisse conditionnelle, permet à la fois à l'antécédent d'être vrai et au conséquent d'être faux. Une alternative à l'antécédent

réfère, quant à elle, à une possibilité d'atteindre le conséquent d'une prémisse sans avoir recours à l'antécédent présenté initialement dans la prémisse.

Le modèle de la Récupération Sémantique prétend que lorsqu'on donne au participant une prémisse conditionnelle, ce dernier construira une représentation mentale de la prémisse équivalente au modèle initial présenté dans la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002). La théorie suggère que les participants construisent également un modèle de la forme *obverse* de la prémisse initiale (c.-à-d., le modèle « $\neg P \neg Q$ »). Par exemple, si un raisonneur traite la prémisse « s'il pleut, alors Pierre sera mouillé », la théorie prédit qu'il construira les modèles suivants :

<i>Il pleut</i>	<i>Pierre sera mouillé</i>
\neg <i>Il pleut</i>	\neg <i>Pierre sera mouillé</i>

Une fois le traitement de la prémisse majeure achevé, le raisonneur traitera la prémisse mineure. Selon le modèle de la Récupération Sémantique, le raisonneur tentera alors automatiquement de récupérer des alternatives à l'antécédent ou des conditions contraignantes, en fonction du type de prémisse mineure. Si la prémisse mineure est la négation de l'antécédent (NA) ou l'affirmation du conséquent (AC), alors la théorie postule que les raisonneurs récupéreront des alternatives à l'antécédent. Si la prémisse mineure est l'affirmation de l'antécédent (MP) ou la négation du conséquent (MT), alors la théorie postule que le raisonneur récupérera des conditions contraignantes. Dans tous les cas, si l'information est suffisamment activée en mémoire, elle sera incorporée dans la représentation en modèles des prémisses et influencera le processus de validation de la conclusion (c.-à-d., « la recherche de modèles alternatifs » voir Section 2.3.2)

Ainsi, la récupération d'une alternative à l'antécédent mènera à la construction d'un modèle additionnel dans lequel le conséquent est présent en l'absence de l'antécédent (c.-à-d., le modèle « $\neg PQ$ »). En continuant l'exemple initié

plus haut, un raisonneur pourrait produire le modèle d'alternative à l'antécédent suivant :

Pierre saute dans un lac

Pierre sera mouillé

L'addition de ce modèle mène au rejet de la conclusion invitée pour les formes AC et NA.

En revanche, la récupération d'une condition contraignante mènera à l'ajout d'un modèle dans lequel l'antécédent est présent et le conséquent est absent (c.-à-d., le modèle « $P \neg Q$ »). Dans le présent exemple, un participant pourrait construire le modèle suivant :

Il pleut (mais Pierre a un parapluie)

\neg *Pierre sera mouillé*

L'incorporation d'un tel modèle mène au rejet des conclusions valides du MP et du MT.

Dans le cas de ces formes, un processus additionnel est impliqué : l'inhibition. Le modèle suggère qu'afin de donner une réponse logiquement valide aux formes MP et MT, le raisonneur doit inhiber les conditions contraignantes qu'il a automatiquement récupérées. Le mécanisme d'inhibition est une partie centrale du premier article de la thèse.

Des études empiriques appuient l'idée que la récupération d'alternatives à l'antécédent et de conditions contraignantes, ainsi que l'inhibition des conditions contraignantes sont impliquées dans le raisonnement. Premièrement, la série d'études présentée plus haut (voir Section 2.2 sur l'effet de contenu) qui démontre l'influence des alternatives à l'antécédent sur les formes invalides et des conditions contraignantes sur les formes valides, renforce l'idée que les raisonneurs récupèrent ce type d'information en tâche de raisonnement (Cummins, 1995; Cummins et al., 1991; De Neys et al., 2002; Janveau-Brennan & Markovits, 1999; Markovits & Vachon, 1990; Thompson, 1994; Vadeboncoeur & Markovits, 1999). D'autres

évidences proviennent de l'étude développementale conduite par Janveau-Brennan et Markovits (1999). Cette expérience était composée de deux phases. Dans la première phase, on présentait aux enfants une série de prémisses conditionnelles et pour chacune d'elles, on demandait aux enfants de produire le plus d'alternatives à l'antécédent possible à l'intérieur d'un délai d'une minute. Dans une seconde phase, on présentait aux mêmes enfants des problèmes conditionnels construits avec des prémisses majeures différentes de celles utilisées dans la première phase de l'expérience. En comparant la performance aux deux tâches, les auteurs ont observé une corrélation positive entre le nombre d'alternatives à l'antécédent générées dans la première phase et le nombre de réponses d'incertitude aux formes invalides AC et NA. Ainsi, les enfants ayant produit plusieurs alternatives à l'antécédent dans la tâche de génération produisaient davantage de réponses logiquement correctes (réponses d'incertitude) aux formes AC et NA. Ces résultats sont consistants avec le modèle de la Récupération Sémantique qui suggère que la récupération d'alternatives occupe une place importante dans la résolution des formes invalides. Notons qu'une relation similaire a également été observée chez les adultes (Markovits & Quinn, 2002).

D'autres études apportent des précisions concernant l'implication du mécanisme d'inhibition dans le raisonnement conditionnel. Dans l'étude de Simoneau et Markovits (2003), on présentait à des enfants une tâche permettant de mesurer la capacité d'inhibition (c.-à-d., une tâche d'amorçage négatif; Tipper & Cranston, 1985). Dans cette tâche, on présentait aux participants des paires de lettres dont l'une était rouge et l'autre verte. Lors de la présentation d'une paire, on demandait aux participants de nommer la lettre rouge (cible) et d'ignorer la lettre verte (distracteur). Le temps pris pour nommer la cible était alors comptabilisé. Dans certains essais, la cible était le distracteur de l'essai précédent. Dans ces essais critiques, les participants étaient plus lents à nommer la lettre que dans les autres essais. On présume que ce temps additionnel est causé par l'inhibition préalable de la cible. Le rapport entre le temps pris dans les essais critiques et les autres essais variait entre les participants, et

ce rapport était considéré comme une mesure individuelle de l'inhibition. Plus le rapport était élevé, plus le participant était disposé à inhiber fortement. Grâce à cette mesure individuelle de l'inhibition, les auteurs ont démontré qu'une disposition élevée à l'inhibition était liée à une augmentation de l'acceptation des conclusions aux formes valides MP et MT. Cette relation est consistante avec l'hypothèse selon laquelle le mécanisme d'inhibition est impliqué dans la résolution de ces formes logiques valides. En effet, les participants ayant démontré une disposition élevée à l'inhibition auraient plus aisément inhibé les conditions contraignantes qui mènent au refus de la conclusion. De plus, les résultats ont démontré que les participants montrant une disposition élevée à l'inhibition sur la tâche d'amorçage négatif ont accepté plus fréquemment les conclusions des formes invalides AC et NA que les autres participants. Cette observation est toujours consistante avec le modèle, suggérant que ces participants ont également inhibé la récupération d'alternatives à l'antécédent qui permettent d'invalider les conclusions invitées aux formes invalides. Globalement, les résultats de l'étude de Simoneau et Markovits (2003) sont cohérents avec l'idée que les gens récupèrent de l'information en mémoire lorsqu'ils raisonnent et que la résolution des formes valides nécessite l'inhibition des conditions contraignantes activées. Notons qu'une relation similaire entre les capacités d'inhibition et le raisonnement a également été démontrée chez les adultes (Markovits & Doyon, 2004).

Une étude récente apporte des précisions supplémentaires quant à la façon dont le mécanisme d'inhibition est impliqué dans le raisonnement (Markovits, Saelen, & Lortie Forgues, 2009). Dans cette étude, nous avons présenté aux participants des MP et des AC dont les conclusions étaient toutes empiriquement fausses, mais dont les prémisses majeures étaient soit plausibles ou invraisemblables.

Un exemple de MP avec prémisse majeure plausible

Si quelque chose est un mammifère, alors il a quatre pattes.

Une baleine est un mammifère.

Donc, une baleine a quatre pattes.

Un exemple de MP avec prémisse majeure invraisemblable

Si quelque chose est un mammifère, alors il a une hélice.

Une baleine est un mammifère.

Donc, une baleine a une hélice.

Les résultats de l'étude montrent que les participants acceptaient plus fréquemment les conclusions des MP construits avec des prémisses majeures invraisemblables que les conclusions des MP construits avec des prémisses majeures plausibles. Ces résultats suggèrent que le traitement de prémisses majeures incroyables déclenche automatiquement un processus d'inhibition qui bloque la récupération de connaissances en lien avec le problème. À l'inverse, quand les prémisses majeures sont plausibles, les gens récupéreront de telles connaissances en mémoire (v.g., la connaissance que les baleines n'ont pas de pattes), et puisque certaines de ces connaissances contrediront la conclusion suggérée, les gens seront portés à refuser cette conclusion. Consistante avec cette hypothèse, l'analyse des temps de réponse montre que les participants qui ont fréquemment accepté la conclusion des MP invraisemblables ont pris plus de temps à accepter la conclusion des MP dont les prémisses étaient invraisemblables que la conclusion des MP dont les prémisses étaient plausibles. En effet, le temps supplémentaire suggère que la résolution des MP plausibles requiert les processus additionnels de récupération d'information et d'inhibition de l'information contradictoire. Finalement, notons qu'aucun effet n'a été observé pour la forme AC, tant au niveau des taux d'acceptation que des temps de réponse, suggérant que le processus sous-jacent est différent pour cette forme logique.

L'implication du mécanisme d'inhibition dans le raisonnement conditionnel est centrale au premier article de la thèse. Avant d'aborder les articles, un dernier ensemble de modèles théoriques mérite toutefois d'être décrit, les modèles probabilistes.

2.3.4 Les modèles probabilistes

Plusieurs notions des théories présentées jusqu'à maintenant étaient inspirées de la logique classique, telle que la notion de conclusion valide. Il existe un type de modèle, le modèle probabiliste, qui rejette l'influence de la logique classique et propose plutôt que le raisonnement humain soit modélisé selon la théorie de la probabilité (Chater & Oaksford, 2004). À l'heure actuelle, il existe plus d'une théorie probabiliste du raisonnement psychologique (Evans & Over, 2004; Oaksford et al., 2000). Notons que ces théories sont relativement récentes et que certains aspects sont moins développés que dans les modèles présentés précédemment.

L'idée centrale derrière les théories probabilistes est que lorsqu'on demande d'évaluer une conclusion, les raisonneurs ne jugent pas la conclusion comme étant valide ou non, mais font plutôt une estimation probabiliste de la conclusion. Cette estimation serait directement proportionnelle à la probabilité que la conclusion soit vraie si la prémisse mineure est vraie (c.-à-d., la probabilité conditionnelle de la conclusion étant donné la prémisse mineure, ou $p(\text{Conclusion}|\text{Prémisse mineure})$ en notation mathématique formelle) (Oaksford et al., 2000). Plus la probabilité conditionnelle de la conclusion étant donné la prémisse mineure est élevée, plus les gens auraient tendance à accepter la conclusion. Ainsi, l'acceptation du MP, du MT, du AC et du NA devrait être en proportion directe aux probabilités conditionnelles $p(Q|P)$, $p(\neg P|\neg Q)$, $p(P|Q)$ et $p(\neg Q|\neg P)$, respectivement.

La façon dont ces probabilités sont calculées est source de débat. Des auteurs ont avancé que ce calcul des probabilités se fait rapidement et intuitivement. Par exemple, Chater et Oaksford (1999) suggèrent que les raisonneurs utilisent des heuristiques rapides (Gigerenzer & Goldstein, 1996) pour estimer les probabilités conditionnelles. J. S. Evans et D. E. Over (2004) suggèrent, quant à eux, que le calcul du niveau de certitude se fait par une simulation mentale, appelée le test de Ramsey (Ramsey, 1931). Dans le contexte du raisonnement conditionnel, ce processus consiste premièrement à supposer que la prémisse mineure est vraie et ensuite, par un

processus de simulation mentale, à calculer le rapport entre le nombre de cas où la conclusion est vraie et le nombre de cas où la conclusion est fausse (Evans, Over, & Handley, 2005; Geiger & Oberauer, 2007). Ainsi, par exemple, si un raisonneur doit juger la certitude d'un MP dont la prémisse majeure est « si je lance une roche dans la fenêtre, alors la fenêtre cassera », il débutera par supposer qu'il a lancé une roche dans la fenêtre. Ensuite il simulera mentalement cette situation et comparera le nombre de cas pour lesquels la fenêtre s'est cassée au nombre de cas pour lesquels la fenêtre ne s'est pas cassée. Le rapport entre le nombre de fois où la fenêtre s'est cassée (cas « PQ ») et le nombre de cas où la fenêtre ne s'est pas cassée (cas « P-Q ») déterminera son niveau de certitude dans la conclusion. Notons que pour les auteurs, il ne s'agit pas d'un calcul mathématique rigoureux et exhaustif de toutes les possibilités, mais plutôt d'une évaluation subjective.

D'autres études empiriques appuient l'idée selon laquelle l'acceptation du MP, du MT, du AC et du NA est proportionnelle aux probabilités conditionnelles $p(Q|P)$, $p(\neg P|\neg Q)$, $p(P|Q)$ et $p(\neg Q|\neg P)$, respectivement. Pour démontrer empiriquement cette hypothèse, Oaksford et al. (2000) ont décomposé la probabilité conditionnelle de chacune des quatre formes logiques en utilisant la formule de Bayes (c.-à-d., $p(A|B) = (p(B|A) p(A)) / p(B)$). Les résultats de la décomposition mathématique pour chacune des quatre formes logiques sont les suivants :

$$\text{MP: } p(Q|P) = p(P|Q) p(Q) / p(P)$$

$$\text{MT: } p(\neg P|\neg Q) = p(\neg Q|\neg P) p(\neg P) / p(\neg Q)$$

$$\text{AC: } p(P|Q) = p(Q|P) p(P) / p(Q)$$

$$\text{NA: } p(\neg Q|\neg P) = p(\neg P|\neg Q) p(\neg Q) / p(\neg P)$$

Ensuite, en se basant sur ces dérivations mathématiques, les auteurs ont testé la prédiction suivante: toute chose étant égale par ailleurs, les participants devraient accepter plus fortement les conclusions des quatre formes MP, MT, AC et NA lorsque la probabilité de leur conclusion respective (c.-à-d., $p(Q)$, $p(\neg P)$, $p(P)$ et $p(\neg Q)$) est élevée. Pour tester cette prédiction, les auteurs ont présenté à des

participants des problèmes de raisonnement dans un contexte (dans le cas présent, un contrôle de qualité sur une chaîne de montage) qui leur permettait de varier individuellement les probabilités $p(P)$ et $p(Q)$. Les auteurs ont ainsi généré des problèmes de raisonnement dans lesquels les valeurs de $p(P)$ et $p(Q)$ étaient soit faibles ou élevés, menant aux quatre possibilités de problèmes suivants:

1. $p(P)$ faible et $p(Q)$ faible
2. $p(P)$ faible et $p(Q)$ élevée
3. $p(P)$ élevée et $p(Q)$ faible
4. $p(P)$ élevée et $p(Q)$ élevée

Les résultats à la tâche de raisonnement étaient consistants avec la prédiction : les participants accordaient plus de certitude aux conclusions hautement probables qu'aux conclusions moins probables.

Les résultats d'autres études sont également consistants avec l'idée selon laquelle l'acceptation des conclusions est liée aux probabilités conditionnelles associées. Par exemple, George (1995) a observé une forte corrélation entre le degré de certitude dans une relation causale conditionnelle (qui peut être assimilé à $p(Q|P)$) et l'évaluation de la conclusion du MP. George (1997) a démontré expérimentalement cette relation en manipulant la croyance dans la prémisse majeure conditionnelle. Pour ce faire, il a introduit un mot de liaison entre la cause et l'effet lui permettant de moduler la force d'association entre ceux-ci comme suit :

1. La cause va *certainement* produire l'effet. ($p(Q|P)$ élevé)
2. La cause va *probablement* produire l'effet. ($p(Q|P)$ moyen)
3. La cause *ne va probablement pas* produire l'effet. ($p(Q|P)$ faible)

L'auteur rapporte que le jugement des participants était en lien direct avec le niveau d'association entre la cause et l'effet. Ainsi, plus le mot de liaison indiquait une relation forte, plus la conclusion était acceptée avec certitude.

À ce point, il est important de discuter d'un aspect des théories probabilistes qui limite leur impact dans le présent contexte. Tel que mentionné précédemment, l'aspect central de ces modèles est l'idée que, lorsqu'ils raisonnent, les gens ne font pas un jugement de validité, mais plutôt une évaluation probabiliste de la conclusion. Ce postulat se répercute sur la façon dont les auteurs des études portant sur les modèles probabilistes présentent les problèmes de raisonnement aux participants. En effet, la majorité des auteurs demande aux participants d'évaluer, sur une échelle, leur niveau de certitude dans la conclusion (voir Figure 2.2).

Indiquez à quel niveau vous êtes certain que la conclusion présentée est vraie.

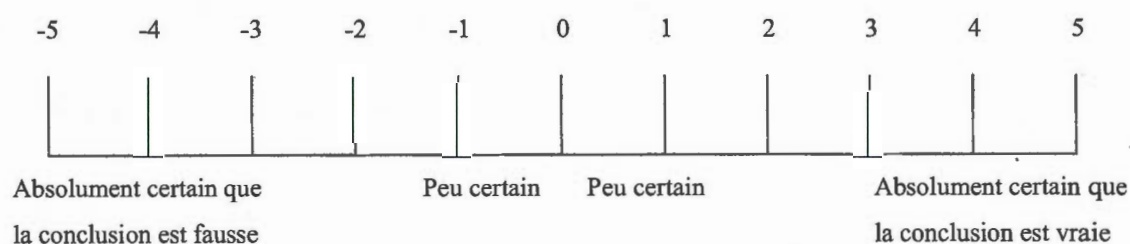


Figure 2.2 Échelle de certitude utilisée comme mode de réponse dans les études portant sur les théories probabilistes

Au contraire, les études empiriques présentées dans les modèles théoriques précédents utilisaient majoritairement un mode de réponse dichotomique dans lequel les participants devaient juger si la conclusion présentée était valide ou non. De récentes études suggèrent que le mode de réponse (échelle de certitude ou jugement dichotomique) a un impact sur la façon dont les gens raisonnent, et induit possiblement deux types de raisonnement qualitativement différents (Markovits, Lortie Forgues, & Brunet, 2010, 2012): un raisonnement qui s'apparente à la logique et un raisonnement qui s'apparente à une estimation probabiliste. L'utilisation de modes de réponse distincts rend donc l'interprétation des résultats des études portant sur les théories probabilistes difficilement interprétables dans le contexte des autres théories du raisonnement humain. Néanmoins, l'émergence des théories probabilistes

a suscité de nombreux débats quant à la nature du raisonnement, particulièrement à savoir si la logique classique ou la théorie probabiliste est le paradigme qui reflète le mieux le raisonnement humain. Bien que les articles de la thèse n'aient pas l'objectif de résoudre ce dilemme théorique, l'apport des théories probabilistes dans l'étude psychologique du raisonnement conditionnel n'est pas négligeable et certaines références y seront faites dans les articles de la thèse.

CHAPITRE III

PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE POUR LA PREMIÈRE ÉTUDE

3.1 Problématique de la première étude

Bien que certaines des théories du raisonnement humain soient plus étayées et influentes, telles que la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 2002), aucune n'est acceptée de façon unanime. Les données empiriques amassées jusqu'à maintenant ne permettent pas de déterminer clairement quel est le meilleur modèle du raisonnement humain. Dans les deux prochaines études, nous introduirons une manipulation qui permettra d'en apprendre davantage sur la façon dont les humains traitent des problèmes de raisonnement conditionnel. Plus spécifiquement, nous présenterons des problèmes de raisonnement sous une contrainte de temps, ce afin d'interrompre de façon prématurée le processus de raisonnement. La variation de la performance causée par cette manipulation nous informera sur les différents processus qui sous-tendent le raisonnement, ainsi que sur la façon dont ces derniers sont organisés dans le temps.

Le but de la première étude consiste à tester une prédiction du modèle de la Récupération Sémantique (Markovits & Barrouillet, 2002) selon lequel la résolution des formes valides requiert l'inhibition de l'interférence induite par la récupération d'information qui met en doute les prémisses. Cette prédiction était indirectement supportée par l'étude de Markovits et al. (2009) dans laquelle les participants

prenaient plus de temps pour répondre logiquement à des problèmes valides qui activaient en mémoire de l'information contradictoire que pour répondre à des problèmes valides qui n'activaient pas ce type d'information.

Afin d'évaluer plus directement l'existence de ce processus en deux temps (récupération d'information suivie de l'inhibition de cette information) nous avons utilisé un paradigme de contrainte de temps avec l'idée que si la réduction du temps de traitement affecte spécifiquement le mécanisme d'inhibition, nous devrions observer une diminution de l'acceptation des conclusions uniquement pour les formes valides MP et MT. Une telle démonstration appuierait l'hypothèse selon laquelle le raisonnement aux formes MP et MT, et non AC et NA, nécessite l'intervention d'un processus d'inhibition.

3.2 Hypothèses de la première étude

1. Si la contrainte de temps interrompt le processus d'inhibition, seule la performance aux formes MP et MT devrait être affectée et ce, à la baisse.
2. La performance aux formes invalides AC et NA, dont la résolution ne devrait pas impliquer d'inhibition, ne devrait pas être affectée par la contrainte de temps.
3. De plus, l'impact de la contrainte de temps sur la performance aux formes MP et MT devrait être plus fort pour les problèmes dont le contenu active en mémoire beaucoup d'information à inhiber, puisque qu'avec de tels problèmes, le processus d'inhibition devrait nécessiter plus de ressources.

CHAPITRE IV

PREMIER ARTICLE – RAISONNEMENT CONDITIONNEL SOUS UNE CONTRAINTE DE TEMPS : RÉCUPÉRATION D'INFORMATION ET INHIBITION

4.1 Résumé du premier article

Dans la présente étude, nous avons évalué 152 participants qui ont répondu à une série aléatoire de 36 problèmes de raisonnement conditionnel (comprenant les quatre formes logiques, MP, MT, AC, NA pour chaque prémisse majeure) dans un temps limité, soit avant 8,5 secondes ou avant 12,5 secondes pour chaque problème. Deux types de contenu variant quant à la quantité d'information contradictoire associée, étaient utilisés. Les résultats démontrent qu'en réduisant le temps alloué pour faire une inférence, seule la performance aux formes MP et MT est diminuée. De plus, l'effet de la contrainte de temps est plus fort sur la performance aux prémisses étant associées à beaucoup d'information contradictoire. La performance aux formes invalides AC et NA reste, quant à elle, stable. Ces résultats sont consistants avec le modèle proposé par Markovits et Barrouillet (2002), si on assume que la réduction du temps limite spécifiquement les ressources investies dans le processus d'inhibition.

4.2 Abstract

A total of 152 students were asked to respond to a series of causal conditional ("If P then Q") inferences with major premises for which there was variable access to information contradicting the premises. Half the students were given 12.5 s for each inference, the other half were given 8.5 s. The percentage of accepted inferences was significantly lower when the time was shorter for the MP and MT inferences, but no effect was observed for the AC and DA inferences. Results are interpreted as supporting the idea that inhibition of retrieved information contradicting the premise is necessary to explain reasoning with the MP and MT inferences under logical instructions (Markovits & Barrouillet, 2002).

4.3 Introduction

Conditional (if-then) reasoning is an essential part of reasoning and decision making. There has been a corresponding wealth of empirical and theoretical research examining conditional reasoning, in both philosophy and psychology (Evans & Over, 2004). In the present study, we use time constraints on reasoning to examine a specific hypothesis about the role of inhibition in reasoning derived from the semantic retrieval model of conditional inference that has been developed by Markovits and colleagues (e.g. Markovits & Barrouillet, 2002).

Conditional reasoning consists in making inferences on the basis of a major premise of the type "if P, then Q" (the first clause, P, is called the antecedent, the second clause, Q, is called the consequent) and a minor premise that corresponds to the affirmation or to the negation of the antecedent or the consequent clause of the major premise. This gives four inferential forms, two of which, Modus Ponens (MP), "P is true", and Modus Tollens (MT), "Q is false", lead to logically certain conclusions. The two other logical forms, the Denial of the Antecedent (DA), "P is false" and the Affirmation of the consequent (AC), "Q is true" do not allow logically certain conclusions.

One of the most striking observations about conditional inferences is the very large variation associated with premise content (Bucci, 1978; Cheng & Holyoak, 1985b; Cummins, 1995; Cummins et al., 1991; Fillembaum, 1975; Janveau-Brennan & Markovits, 1999b; Johnson-Laird & Steedman, 1978; Marcus & Rips, 1979; Markovits, Fleury, Quinn, & Venet, 1998; O'Brien, Costa, & Overton, 1986; Quinn & Markovits, 1998; Rips, 1983b; Thompson, 1994). Two important classes of information stored in long-term memory have been found to affect conditional inferences; alternative antecedents and disabling conditions. Consider the causal relation "If a rock is thrown at a window, the window will break". An alternative antecedent refers to the possibility of attaining the consequent in a way that is

different from the antecedent (If A, then Q). In this case, an example of an alternative antecedent is "throwing a chair at the window". Existing research has shown that reasoners tend to produce fewer uncertainty responses to AC and DA for premises for which there are relatively fewer potential alternative antecedents (Cummins et al., 1991; Cummins, 1995; Janveau-Brennan & Markovits, 1999; Markovits & Vachon, 1990; Thompson, 1994). Disabling conditions (Cummins et al., 1991; Cummins, 1995) are conditions that allow the antecedent to be true while the consequent may not be true. In the present case, "the window is made of Plexiglas" is an example of a disabling condition. Studies have shown that adults will tend to respond with uncertainty to both logically valid forms MP and MT to the extent that they can produce disabling conditions (Cummins, 1995; Cummins et al., 1991; De Neys, Schaeken, & d'Ydewalle, 2002; Vadeboncoeur & Markovits, 1999).

Markovits and colleagues (Markovits & Barrouillet, 2002; Markovits et al., 1998; Markovits & Quinn, 2002; see also De Neys, Schaeken, & d'Ydewalle, 2002; 2003; DeNeys & Everaerts, 2008) have proposed a semantic retrieval model of the inferential process that explicitly accounts for such variation. The retrieval model assumes that if a participant is given a simple "if-then" statement, then he or she will start by constructing a simple representation of the major premise that is equivalent to the initial model of mental model theory. However, when a minor premise is added to the major premise and an inference is required, the reasoner will automatically attempt to retrieve alternative antecedents and disabling conditions using the minor premises as a retrieval cue. If a given type of information is sufficiently strongly activated, then it will be incorporated into the representation of the premises and the reasoner will make inferences on this basis. Retrieval of an alternative antecedent will lead to a tendency to reject the AC and DA inferences. Retrieval of a disabling condition will lead to a tendency to reject the MP and MT inferences. In the latter case, in order to accept the MP and MT inferences, a reasoner must inhibit

interference due to activation of disabling conditions (Markovits & Doyon, 2004; Simoneau & Markovits, 2003).

In the following, we are specifically concerned with the interaction between inhibition and retrieval required when typical instructions to suppose that premises are true are used with differing levels of potential disabling conditions, i.e. different levels of information that suggest that the "If P then Q" major premise may not be true. A recent study allows a more precise understanding of the time course of this interaction. Markovits, Saelen, & Lortie Forgues (2009) recorded response times to MP and AC inferences under standard logical instructions, using premises with unbelievable content (e.g. If something is a plant, then it is made of stone) and premises with plausible content (e.g. If something is a plant, then it has leaves). Participants who responded correctly to the MP inference with unbelievable content took more time to respond to MP inferences with plausible than with unbelievable content; while participants who did not respond correctly to the MP inference with unbelievable content showed the inverse pattern. No such effect was found with AC inferences. Markovits, et al. (2009) interpreted these results as indicating that when making MP inferences with plausible premises, knowledge about the premises, specifically knowledge about potential disabling conditions, tends to be activated during initial processing of premises, and that successful inhibition of this knowledge, which is required to give the logically appropriate response, must occur later in the reasoning process.

This result allows a specific prediction concerning the effect of reducing the amount of time allotted to making MP inferences with concrete premises. Specifically, if inhibition follows retrieval, the inhibitory component of the reasoning process will be selectively disrupted by reducing the time allotted to making an inference, without constraining the retrieval component. In other words, a suitable time constraint should selectively increase the tendency of reasoners to reject the MP and MT inferences, when information contradicting the truth of the major premise is

readily available. Since inhibition is not required for logical reasoning with the AC inference, no such effect should be observed in this case.

There is some evidence that is consistent with this basic idea. De Neys and colleagues (De Neys, Schaeken, & d'Ydewalle, 2005a; 2005b) used an attention-demanding secondary task to examine effects of cognitive load on conditional reasoning. Their results showed that for high working memory span participants, addition of a secondary task selectively decreased rates of acceptance of the MP and MT inferences, although this was not the case for participants with low working memory spans. These results partially support our predictions, although we would predict a broader effect that would not be limited to more competent reasoners. It is worth noting that De Neys et al. (2005a) used a conditional task requiring a scaled response measuring degree of certainty and recent results (Markovits, Lortie Forgues, & Brunet, in press) suggest that such scaled responses can be interpreted as requiring a probabilistic evaluation, especially by less expert reasoners. Since we are explicitly examining a standard logical deductive reasoning task requiring a dichotomous judgment of validity, with strong logical instructions, we might reasonably expect that overall performance would more closely resemble that found by the more expert reasoners in the De Neys et al. (2005a) study.

In contrast, a recent study by Evans, Handley and Bacon (2009), which looked at time pressure on conditional inferences varying in levels of believability, did not find results consistent with our predictions. At least in one study, they found that time constraints resulted in lower levels of conclusion acceptance across all inference forms and levels of believability. However, the premises used by Evans et al. (2009) involved either complex knowledge (e.g., If the Queen dies, then Prince Charles will become King) or simpler general knowledge with extreme levels of believability (e.g., If it is a bird then it will have feathers. If it is night time then it will be sunny). In the present study, we were specifically interested in the processing of simpler causal conditionals with a level of believability less extreme (e.g., If a dog has fleas,

then it will scratch), and it is not clear that the results of the Evans et al. (2009) study will generalize to this case (also see Evans & Curtis-Holmes, 2005; Schroyens, W. J., Schaeken, W., & Handley, S., 2003; for other examples of reasoning under time constraints).

In order to test our hypothesis, we presented adult reasoners with two series of causal conditional premises, which had the same consequent term (i.e. the effect), but varied in the extent to which the antecedent (i.e. the cause) was associated with information contradicting the truth of the major premise. For brevity, we will refer to the type of premises with few associated contradicting information as *Strong* premises and to the type of premises with more associated contradicting information as *Weak* premises. For each of these two types of premises, participants were presented with the four inferential forms (MP, MT, AC and DA). We pretested subjects in order to select a time that allowed comfortable processing of the information in the inferential problems (12.5 s.), and a shorter time that significantly constrained problem processing (8.5 s.). We hypothesized that the overall rate of rejection of the MP (and MT) inference would be greater when participants were given less time to make inferences. In addition, this effect should be greater for premises with a higher degree of availability of information contradicting the truth of the major premise. It should be noted that all the premises used had potential alternative antecedents, which influence reasoning on the AC and DA forms. Since our model suggests that these must be retrieved, but not inhibited, we would predict that the time manipulation would have little effect on these two inferential forms, a prediction that is supported by previous results (De Neys, 2005a; Markovits et al., 2009).

4.4 Method

4.4.1 Participants

A total of 152 college-level students (100 females, 52 males; average age = 20 years, 1 months) were randomly assigned to one of four groups. All participants were French speaking students at the CEGEP du Vieux-Montréal, and were volunteers.

4.4.2 Material and procedure

A computer program was created using Visual Basic. The opening screen asked for demographic information. Following this, a second screen showed a series of instructions. In these, participants were informed that they were to respond to some inferential problems, and that, in order to do so they would have to consider the major premise as always true. Participants were informed of the time allotted (which was either 12.5 s. or 8.5 s.) and had to perform three trial problems. Following these three initial trials, there was a sequence of 20 inferential problems. Each of them had the same display format. At the top was the if-then conditional statement. This was followed by a minor premise that presented an affirmation or negation of either the antecedent or consequent terms. Reasoners were asked to indicate whether or not a suggested conclusion was certain, by clicking on one of two buttons (indicating “yes” or “no”). These were located next to each other in the middle of the screen directly below the suggested conclusion. In all cases, the suggested conclusion was the biconditional response to a given inference, i.e. if the minor premise corresponded to “q is false” the suggested conclusion was “p is false”, etc. Note that the suggested conclusion is a single statement concerning a state, one which has no empirical value e.g. “a dog scratches”. To induce the participants to take advantage of the time allowed and to actively reason with premises, the answer buttons and the suggested conclusion only appeared during the last 5 seconds of the allotted time interval. In order to control for possible effects of presentation format, a sub-group of 41 Ps

received the suggested conclusion, the answer buttons and the premises at the same time.

There were 2 sets of causal conditional premises used in this study which were chosen in the following way. A separate group of 30 participants were asked to generate potential causes for a set of 5 effects. The most frequently mentioned cause was used as the antecedent for one set of “if cause-then effect” premises, while the second most frequently mentioned cause was used as the antecedent for a second set. All causes were chosen among those that were spontaneously produced and could be considered as plausible. We supposed that premises using the most frequently mentioned cause as the antecedent term would be considered as having a stronger degree of necessity than premises using less frequently mentioned causes (this was confirmed by a pretest). In addition, the average number of syllables in each of the two premise types was constructed to be equal. Specifically, a questionnaire was designed which presented the premises in one of two random orders. Twenty-nine adult students were given the questionnaire, which asked the probability of “P being true but Q being false” on a 10-point scale, for each of the 10 premises (e.g., Simon is afraid, but his teeth don’t chatter). As expected, when the most highly associated cause was used, participants considered it significantly less probable that “P is true and Q is false” ($M = 5.32$) than for premises using the second most highly associated cause ($M = 6.96$), $t(28) = 7.25, p < .001$.

The premises using the most frequently mentioned cause as the antecedent (referred to as *Strong* premises) were (translated from the original French):

1. If Simon is cold, then his teeth chatter.
2. If Jean-Pierre has a cold, then he blows his nose.
3. If a dog has fleas, then it will scratch itself.
4. If Melinda cuts her finger, then her finger will bleed.

5. If Julie doesn't study, then she will get a bad mark.

The second set (referred to as *Weak* premises) used the same consequents as the premises in the first set, but with antecedents that were the second most frequently mentioned, and were:

1. If Simon is afraid, then his teeth chatter.
2. If Jean-Pierre suffers from allergies, then he blows his nose.
3. If a dog has a skin disease, then it will scratch itself.
4. If Melinda bits her finger, then her finger will bleed.
5. If the exam is hard, then Julie will get a bad mark.

For each of these two sets of premises, the four inferential forms (MP, MT, AC and DA) were constructed for each of the 5 premises in the set, giving a total of 20 different problems. Each of the 20 inferences was presented in a random order for a given participant.

In sum, we have two between subjects factors; Premise type (strong, weak), and Time (short, long) with responses to the 4 logical forms (MP, MT, AC, DA) as a within subjects factor.

4.5 Results

An initial analysis showed that mode of problem presentation (delayed or simultaneous display) had no effect, and this was not further analyzed. We then computed the number of times that participants did not give any response to a problem, for each of the four logical forms. We performed an Anova with the number of non-responses as the dependent variable with Logical form as a repeated measure and Premise type (*Strong, Weak*) and Time (*Short, Long*) as independent variables. This showed only main effects of Time, $F(1, 148) = 21.31, p < .001$, and Logical form, $F(1, 148) = 6.68, p < .001$. When participants received the longer time period,

they gave fewer non-responses (3.37% of trials) than when they received the shorter time period (8.70% of trials). In addition, non-responses were globally less frequent among the logical forms MP ($M = 5.5\%$) and AC ($M = 5.5\%$) than among the forms containing the denial of either the antecedent, DA ($M = 10.8\%$) or the consequent, MT ($M = 9.8\%$).

We first analyzed responses by considering uncompleted responses as denials, consistent with the method used by Evans et al. (2009). For each of the four forms, we computed the mean percentage of responses for which the suggested conclusion was accepted (acceptance rate as a function of premise type and allotted time are reported in Table 4.1). We then performed an ANOVA with percentage of accepted conclusion as the dependent variable, with Logical forms as repeated measure, and Time and Premise type as independent variables. This showed a significant Premise type x Time interaction, $F(1, 148) = 4.63, p < .05$, and a significant Logical form x Time interaction, $F(3, 146) = 7.18, p < .001$. Least square means contrasts were used to analyse interactions. Analysis of the Premises type x Time interaction showed that the overall acceptance rate with *Weak* premises was significantly lower with the *Short* time ($M = 38.5\%$) than with the *Long* time ($M = 53.3\%$), $F(1, 148) = 6.97, p < .01$, while no such difference was observed with *Strong* premises (Short time: $M = 52.4\%$; Long time: $M = 52.6\%$), $F < 1$. Analysis of the Logical form x Time interaction showed that the acceptance rate for the MP inferences was less with the *Short* time ($M = 61.03\%$) than with the *Long* time ($M = 73.51\%$). Similarly, the acceptance rate for the MT inferences with *Weak* premises was less with the *Short* time ($M = 40.26\%$) than with the *Long* time ($M = 55.14\%$). No differences were observed for AC and DA inferences as a function of time.

Table 4.1

Mean percentage of responses for which the suggested conclusion was accepted for the MP, MT, DA, and AC inferences as a function of allotted time and premise type.

Time	Premise type	N	Logical form			
			MP	MT	DA	AC
Short	Strong	48	67.50 (28.77)	47.08 (30.17)	44.16 (28.27)	54.58 (31.35)
	Weak	30	50.67 (26.64)	29.33 (20.16)	32.66 (27.53)	42.67 (29.59)
Long	Strong	43	73.02 (25.03)	52.56 (31.48)	40.00 (31.17)	44.65 (30.50)
	Weak	31	74.19 (26.43)	58.71 (31.38)	37.42 (32.55)	42.58 (27.59)

Note: Numbers in parentheses are standard deviations

We repeated these analyses using the percentage acceptance of completed responses (discarding non-responses). This gave the same pattern of results, and will not be reported here.

4.6 Discussion

The purpose of the present study was to test the hypothesis that curtailing processing time in conditional reasoning would preferentially limit use of the inhibition component. Overall, the results conform remarkably well to our predictions. For the MP and MT premises, having less time reduces the rate of acceptance of the suggested inference, while this had no effect on the AC or DA inferences. In addition, this effect is significantly greater on the *Weak* premises for which the availability of information contradicting the premises is stronger.

Before examining the implications of these results, we consider the possibility that what has been observed might be due to participants being so time constrained that they adopt a fall-back strategy that does not involve making an inference. The

only potential strategy that could account for these results would be to deny the conclusion when participants could adequately process the inference. However, the lack of any observed effect on the AC and DA inferences makes this highly unlikely, particularly since analysis of the non-responses indicates that participants found it easier to respond to the MP and AC inferences than to the two others. Thus, we can conclude that participants were reasoning with the premises, and that the increased rejection of the MP (and MT) inference was due to the way that these inferences were processed.

These results add additional weight to previous results that indicate that making the MP (and MT) inferences under standard logical instructions require inhibition of information contradicting the premises (P not-Q cases) (De Neys & Everaerts, 2008; Markovits, Saelen, & Lortie Forgues, 2009; Markovits & Doyon, 2004; Markovits & Potvin, 2002; Simoneau and Markovits, 2003).

In particular, the present results are consistent with those of DeNeys et al. (2005a). As previously described they observed that for high working memory span participants, a secondary task decreased MP and MT acceptance. In the present study, we did not measure individual differences in cognitive capacity, but we did provide participants with strict reasoning instructions, and with a reasoning task that did not allow reasoners with less competence to interpret the nature of the tasks differently (Markovits et al., in press). We expected that the overall pattern of results would then be consistent with that observed for the high working memory span participants in the De Neys et al. (2005a) study.

Given the embryonic state of the speeded-task methodology in the study of reasoning, it is useful to compare our data with those of Evans et al. (2009). A first noticeable difference in the results is that the overall response rate in Evans et al. (2009) is much higher than in our study. This might be accounted for by use of distinct instruction sets. In Evans et al. (2009)'s study, participants were given standard instructions asking them to assume that the premises were true and then to

decide if the conclusion was necessary. In comparison, in the present study, participants were presented with a set of instructions asking whether the suggested conclusion was certain or not. It is plausible that the participants interpreted the word “certain” as requiring a stronger inference to be made than the word “necessary”, which would account for the overall difference in acceptance level. A second difference is that Evans et al. (2009) found a global suppression effect of time on all four inferences (although only marginally significant in Experiment 2), while we found an impact of time only on MP and MT with weak premises. This must be related to the specific content of the premises. If we consider Evans et al. (2009)’s second study (in which the content of the premises, based on simple general knowledge, is comparable to ours), the premises used were either highly believable (e.g., If it is a bird then it will have feathers) or completely unbelievable (e.g., If it is night time then it will be sunny). In contrast, we used plausible premises in which the level of believability was less extreme. Markovits et al. (2009) found that when participants were asked to reason with patently false premises they were able to completely inhibited their knowledge that the premises are not necessarily true and accepted the conclusion of the MP and MT inferences, while not doing so when reasoning with plausible, although unlikely premises. This could explain the lack of the specific impact of time on MP and MT in the Evans et al (2009) study, although it cannot explain the global suppression effect observed in Evans et al. (2009). Further research is needed to pinpoint the cause of the different patterns of response. One final point is the relatively higher rate of non-responses in our study. This could be due to the increased difficulty due to problem instructions, or to premise content. Irrespective of the explanation, it should be noted that the pattern of non-responses is inconsistent with the observed suppression effects in our study, and does not influence the interpretation of our results.

Finally, the present results have some potential implications for the status of the initial model premise of mental model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991,

2002). Initial models of conditionals simply represent the antecedent and consequent term, and are used in order to reduce the cognitive load involved in processing more than one model. Reasoning solely on the basis of initial models would result in accepting the MP and AC inference, but not the DA and MT inferences. Although the theory has no clear parameters determining when initial models will be fleshed out, or not, one plausible interpretation would suppose that any additional cognitive load should reduce the ability of participants to process conditionals in more complex ways, precisely for the same reasons of cognitive economy that underlies the initial model postulate. This would lead to the clear prediction that the proportion of acceptance of the MP and AC inferences should increase in the Short time condition in the present study, which is of course not the case. Thus, in order to retain the initial model postulate, one would have to argue that the 8.5 secs used in the Short time condition is simply not short enough to generate a cognitive load sufficient to increase initial model use. While possible, this certainly constrains the potential generality of the initial model postulate.

4.7 References

- Cummins, D. D. (1995). Naive theories and causal deduction. *Memory & Cognition*, 23(5), 646-658.
- Cummins, D. D., Lubart, T., Alksnis, O., & Rist, R. (1991). Conditional reasoning and causation. *Memory & Cognition*, 19(3), 274-282.
- De Neys, W. & Everaerts, D. (2008). Developmental trends in everyday conditional reasoning. The retrieval and inhibition interplay. *Journal of Experimental Child Psychology*, 100, 252-263.
- De Neys, W., Schaeken, W., & d'Ydewalle, G. (2002). Causal conditional reasoning and semantic memory retrieval: A test of the semantic memory framework. *Memory & Cognition*, 30, 908-920.
- De Neys, W., Schaeken, W., & d'Ydewalle, G. (2002). Inference suppression and semantic memory retrieval: Every counterexample counts. *Memory & Cognition*, 31, 581-595.
- De Neys, W., Schaeken, W., & d'Ydewalle, G. (2005a). Working memory and everyday conditional reasoning: Retrieval and inhibition of stored counterexamples. *Thinking & Reasoning*, 11, 349-381.
- De Neys, W., Schaeken, W., & d'Ydewalle, G. (2005b). Working memory and counterexample retrieval for causal conditionals. *Thinking & Reasoning*, 11, 123-150.
- Evans, J. St. B. T. & Curtis-Holmes, J. (2005). Rapid responding increases belief bias: Evidence for the dual-process theory of reasoning. *Thinking & Reasoning*, 11(4), 382-389.
- Evans, J. S. B. T., Handley, S. J., & Bacon, A. M. (2009). Reasoning under time pressure: a study of causal conditional inference. *Experimental Psychology*, 56, 77-83.
- Evans, J. S. B. T., & Over, D. E. (2004). *If*. Oxford: Oxford University Press.
- Janveau-Brennan, G., & Markovits, H. (1999). Reasoning with causal conditional: Developmental and individual differences. *Developmental Psychology*, 35(4), 904-911.
- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. M. J. (1991). *Deduction*. Hove & London:

Erlbaum.

- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. M. J. (2002). Conditionals: A theory of meaning, pragmatics and inference. *Psychological Review*, 109, 646-678.
- Markovits, H., & Barrouillet, P. (2002). The development of conditional reasoning: A mental modal account. *Developmental Review*, 22, 5-36.
- Markovits, H. & Doyon, C. (2004). Information processing and reasoning with premises that are not empirically true: Interference, working memory and processing speed. *Memory and Cognition*, 32(4), 592-601.
- Markovits, H., Fleury, M.-L., Quinn, S., & Venet, M. (1998). The development of conditional reasoning and the structure of semantic memory. *Child Development*, 64, 742-755.
- Markovits, H., Lortie Forgues, H., & Brunet, M.-L. (in press). Conditional reasoning, frequency of counterexamples, and the effect of response modality. *Memory & Cognition*.
- Markovits, H., & Potvin, F. (2001). Suppression of valid inferences and knowledge structures: The curious effect of producing alternative antecedents on reasoning with causal conditionals. *Memory & Cognition*, 29, 736-744.
- Markovits, H., Saelen, C., & Lortie Forgues, H. (2009). An inverse belief-bias effect: Evidence for the role of inhibitory processing in logical reasoning. *Experimental Psychology*, 56, 112-120.
- Oaksford, M., & Chater, N. (2001). The probabilistic approach to human reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 349-357.
- Quinn, S., & Markovits, H. (1998). Conditional reasoning, causality, and the structure of semantic memory: Strength of association as a predictive factor for content effects. *Cognition*, 68, B93-B101.
- Thompson, V. A. (1994). Interpretational factors in conditional reasoning. *Memory & Cognition*, 22(6), 742-758.

CHAPITRE V

PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE POUR LA SECONDE ÉTUDE

5.1 Problématique de la seconde étude

Dans la première étude, nous avons examiné la façon dont le raisonnement conditionnel était affecté par une contrainte de temps. Nous avons démontré qu'en réduisant le temps de raisonnement à des problèmes choisis pour avoir un contenu familier évoquant beaucoup d'information contradictoire, seule la performance aux formes valides MP et MT a été affectée et ce, à la baisse. Aucune variation de performance n'a été observée sur les formes invalides AC et NA. Ces résultats sont consistants avec l'hypothèse du modèle de la Récupération Sémantique selon laquelle la résolution des formes valides nécessite un processus cognitif additionnel, soit l'inhibition d'information.

Une implication importante des résultats de la première étude concerne la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002). Tel que mentionné précédemment, cette théorie postule que les gens raisonnent d'abord selon le modèle initial, une représentation simple menant à l'acceptation du MP et du AC, et complexifient leur représentation s'ils disposent des ressources cognitives nécessaires. Une prédiction directe qui peut être tirée d'un tel postulat est qu'une réduction des ressources cognitives devrait augmenter la proportion de raisonnement fait uniquement sur la base du modèle initial. Or, ce patron n'est pas celui observé

dans la première étude dans laquelle nous avons contraint le temps de réponse, une façon directe de réduire les ressources cognitives disponibles au traitement des problèmes. Il est possible toutefois que certains aspects de la première étude, tels que la contrainte de temps choisie ainsi que les analyses statistiques utilisées aient masqué la présence d'un patron de raisonnement basé sur le modèle initial.

Dans la seconde étude, nous avons spécifiquement testé l'existence de ce postulat fondamental de la théorie des Modèles Mentaux selon lequel les gens raisonnent sur la base du modèle initial lorsque leurs ressources cognitives sont limitées. Avant d'exposer les hypothèses de recherche, un point méthodologique doit être abordé. Selon la théorie des Modèles Mentaux, un raisonnement sur la base d'un modèle initial mène à l'acceptation des formes MP et AC et aux refus des formes MT et NA. Or, il existe dans la littérature une tendance robuste, le « matching » (Evans, 1998), qui, dans le contexte du raisonnement conditionnel, pousse les gens à accepter les conclusions positives (MP et AC) et à refuser les conclusions négatives (MT et NA). Cette tendance n'implique qu'un traitement très superficiel du problème. Toutefois, puisque cette tendance génère le même patron de réponse qu'un raisonnement basé sur le modèle initial, elle se doit d'être contrôlée méthodologiquement à défaut de rendre les résultats de l'étude ininterprétables. Une façon de limiter cette explication alternative est d'introduire une négation dans le conséquent et l'antécédent des prémisses majeures des problèmes présentés (c.-à-d., « si non-P, alors non-Q »). Cette manipulation permet d'avoir une négation dans la conclusion invitée du MP (non-Q) et du AC (non-P), et d'enlever la négation dans la conclusion invitée du MT (P) et du NA (Q). Une telle manipulation permet ainsi de distinguer les réponses basées sur le modèle initial de celles basées sur une simple stratégie de « matching ». En effet, les participants répondant sur la base d'un modèle initial devraient continuer à accepter les formes MP et AC et à refuser les formes MT et NA. Au contraire, les participants répondant sur la base d'une stratégie de

« matching » devraient désormais refuser les formes MP et AC et accepter les formes MT et NA. Un tel contrôle méthodologique sera utilisé dans l'article.

5.2 Hypothèses de la seconde étude

Si la théorie des Modèles Mentaux est juste, nous devrions observer, sous la contrainte de temps, une proportion élevée de participants dont le patron de réponse est conforme au modèle initial, c'est-à-dire un haut niveau d'acceptation aux formes MP et AC, ainsi qu'un faible niveau d'acceptation aux formes NA et MT.

Un patron de raisonnement conforme au modèle initial devrait être observable même quand des négations sont introduites dans les prémisses afin de contrôler la tendance qui pousse les gens à accepter les formes dont les conclusions sont positives et à refuser les formes dont les conclusions sont négatives (c.-à-d., le « matching » (Evans, 1998)).

Finalement, une question de recherche est soulevée dans l'étude : si nous observons un patron de réponse correspondant au modèle initial, nous examinerons si la proportion de participants chez qui on observe ce patron varie en fonction de la complexité des problèmes et selon le niveau de familiarité du contenu.

CHAPITRE VI

DEUXIÈME ARTICLE – À LA RECHERCHE DU MODÈLE INITIAL

6.1 Résumé du second article

Nous avons utilisé une méthodologie de contrainte de temps afin de valider un des postulats fondamentaux de la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002), une des théories les plus influentes du raisonnement conditionnel. Selon celle-ci, les gens raisonnent d'abord selon le modèle initial, une représentation simple menant à l'acceptation du MP et du AC, et complexifient leur représentation s'ils disposent des ressources cognitives nécessaires. Aucune étude ne démontre directement l'existence du modèle initial. Pour tester cette hypothèse, nous avons réalisé trois expérimentations dans lesquelles nous avons présenté des inférences et limité la quantité de ressources cognitives disponibles en contraignant le temps et en manipulant le niveau de familiarité du contenu des prémisses. Dans une première expérimentation, les participants devaient résoudre des problèmes construits avec des prémisses arbitraires incluant des négations (v.g., si une forme n'est pas carrée, alors elle n'est pas rouge) avec un temps limité de 9 s, 15 s, ou un temps illimité. Une analyse des patrons individuels de réponse a démontré qu'une proportion significative de raisonneurs répondait selon le modèle initial. Dans une seconde expérimentation, nous avons présenté des prémisses arbitraires sans négation (v.g., si une forme est carrée, alors elle est rouge) avec un temps limité de 6 s ou 8 s. Nous avons observé une augmentation du nombre de modèles initiaux avec le temps.

Finalement, dans une troisième expérimentation, nous avons présenté des prémisses familières (v.g., si un chien a une maladie de peau, alors il se gratte) avec un temps limité de 5 s, 7 s ou un temps illimité. Les résultats ont démontré un nombre limité de modèles initiaux dans les trois conditions de temps. Globalement, les résultats des trois expérimentations suggèrent que ce type de modèle est davantage présent quand le contenu des prémisses est arbitraire.

6.2 Abstract

A key assumption of Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002) is that reasoners should use a minimal representation of the premises, called the initial model, in order to reduce the cognitive load involved in the processing of more than one model. However, there is no direct evidence for this postulate. In the following experiments, we modified the ability of participants to process conditional (if-then) inferences in more complex ways by varying the degree of arbitrariness of the conditionals and by restricting the time allotted. Experiment 1 used premises with arbitrary relations with explicit negations in both terms in order to control for a possible matching strategy, with 9 s, 15 s, or unlimited processing time. Results show a significant number of initial model patterns, which increased with time. No evidence for use of a matching strategy was found. Experiment 2 involved arbitrary relations without negations, with 6 s or 8 s processing time. This experiment showed a significant increase in initial model patterns at the longer times. Experiment 3 used premises with familiar relations with either very limited processing times (5 s, 7 s) or an unlimited time condition. Results show very low numbers of initial model patterns in the three time conditions. Overall, these experiments provide clear evidence that reasoners do use an initial model form of reasoning, and suggest that this is done mostly because of difficulty of processing more abstract content.

6.3 Introduction

Conditional (if-then) reasoning is important in our everyday mental life and is involved in hypothetical thinking, an essential part of reasoning and decision making. There has been a corresponding wealth of empirical and theoretical research examining conditional reasoning, in both philosophy and psychology (see Evans & Over, 2004 for an overview). In the following, we examine a key postulate of the Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002): the initial model hypothesis.

Conditional reasoning consists in making inferences based on premises of the form "If P, then Q". By affirming or negating the antecedent or the consequent clause of the major premise, four basic inferences can be constructed. Among these, the Modus Ponens (MP) inference ("P is true"), and the Modus Tollens (MT) inference ("Q is false") lead to certain conclusions. Both the Denial of the Antecedent (DA) inference ("P is false") and the Affirmation of the consequent (AC) inference ("Q is true") do not allow certain conclusions.

One of the most influential theories in the psychological study of conditionals is Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002). This theory suggests that although reasoners have a core definition of conditionals, whenever they are presented with a conditional statement, they will start by constructing a simplified representation of the conditional. This initial model uses tokens representing only the antecedent and consequent terms in the following way:

P Q

Reasoners will either make an inference based on this initial model or, with enough time and resources, will add additional models in a process called fleshing out. In its basic formulation, the theory assumes that fleshing out will result in either a biconditional or a conditional interpretation of the "if-then" relation. With a

biconditional interpretation, the following models would be produced, where (\neg) is used to symbolize the negation of a state:

P	Q
\neg P	\neg Q

With a conditional interpretation, reasoners would produce the following models:

P	Q
\neg P	\neg Q
\neg P	Q

Inferences are made by examining all relevant models that are constructed by the reasoner, with the proviso that a conclusion will be accepted if it is instantiated in at least one model and not contradicted by at least one other model. In the case where there is no relevant model available, the theory assumes that no conclusion will be drawn.

A key assumption of this approach is that every constructed model puts a load on working memory and that accordingly, reasoners will tend to reason with the initial model. A person reasoning on the basis of the initial model should accept the conclusion that "Q is true" for the MP inference and the conclusion that "P is true" for the AC inference. Since the initial model does not contain explicit representations of \neg P and \neg Q, no conclusion can be derived for either the DA or the MT inferences. Thus, the use of the initial model would lead to a pattern of inferences in which MP and AC are accepted at an equivalently high rate, while the MT and DA inferences are accepted at a much lower rate.

There is some indirect evidence supporting the initial model assumption. Several studies show a relation between number of models and inference difficulty suggesting that the inferences based on fewer models are easier and faster to complete (e.g., Carreiras & Santamaria, 1997; Schaeken, Johnson-Laird &

d'Ydewalle, 1996; De Vooght, 1997). These results support the relation between number of models and cognitive load (Barrouillet & Lecas, 1999), but do not allow the critical conclusion that people tend to reason with fewer models in order to reduce the cognitive load involved in the processing of more than one model.

Indirect evidence for initial model use has been found with tasks not requiring conditional inferences. Barrouillet and Lecas (1998) presented children with conditional statements, and asked them to identify which combinations of P and Q were compatible with each conditional. The youngest (10 year-old) children considered only the P Q case to be compatible, while older children gave more complex representations. Bonnefon and Vautier (2008) found patterns compatible with initial model use in the selection task (Wason, 1966) and in a truth-table task (Evans, 2007).

More recently, Schroyens and Braem (2011) presented conditional syllogisms with either a standard biconditional or a "nothing follows" conclusion. For both negative inferential forms (DA and MT), the "nothing follows" conclusion was accepted more often than the biconditional conclusion was rejected. A second study used conclusions containing either an explicit or an implicit negation. Acceptance of the MP and AC inferences decreased when the negation was implicit. These results are generally consistent with the use of the initial model, although their results also show high levels of acceptance of the MT inference, which is actually inconsistent with initial model use. This study and the previously cited studies provide relatively clear, although indirect evidence for initial model use. The most direct evidence supporting initial model use comes from a study by Oberauer (2006), which evaluated individual patterns of acceptance of each conditional form. Oberauer (2006) did find relatively small proportions of patterns compatible with an initial model representation (varying between 2.7% and 11.3%).

Thus, available evidence suggests that people do generate patterns of reasoning consistent with initial model representations. However, such patterns might

be explained by another mechanism. Specifically, reasoners could be using a form of “matching bias” (Evans, 1998), such that positive conclusions are accepted and negative conclusions are rejected. The use of such a heuristic would generate the same pattern of responses as initial model use, a possibility that has not been controlled for in the previously cited studies. Thus before making any definite conclusions as to the reality of the initial model representation, potential use of a matching strategy must be eliminated.

Before continuing, it is useful to note that Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002) suggests at least two separate reasons for initial model use. First, people rely on an initial model in order to reduce the cognitive load involved in reasoning. Reducing the cognitive resources available during reasoning should thus increase initial model use. One clear way to test this hypothesis would be to constrain the time allotted for making inferences. At least three studies have examined inferential reasoning under time constraints. Evans and Curtis-Holmes (2005) compared an unrestricted condition to a 10-second condition in the processing of syllogisms. Evans, Handley, and Bacon (2009) and Lortie Forgues and Markovits (2010) examined inferential performance at 8 s. Although time pressure showed clear, although variable, effects on inferential performance, none of these studies showed a pattern of performance that is consistent with initial model use. It is possible, however, that reducing the allotted time to less than 8 s is required to show initial model use.

There is also a second set of reasons for initial model use that is related to problems in reasoning with abstract premises. In line with Klauer, Musch, and Naumer (2000), premises with content that is weakly associated to existing knowledge, such as abstract premises, will be difficult to integrate into a single coherent representation. Constructing such a representation is an important preliminary phase in processing inferential problems, and this should take more time with premises that are more abstract or more complex. In addition, once premises are

organized into a coherent representation, abstract content will limit the fleshing out process. Specifically, given the lack of associated knowledge that characterizes abstract premises, reasoners should find it difficult to generate the information required to construct additional models, leading to increased initial model use.

This second set of factors predicts that reasoning with abstract premises should lead to two identifiable effects on initial model use, each with a differing time course. When elapsed time is insufficient for creating a coherent representation of premises, relatively few initial model representations will be produced, since these require a minimal level of coherence. Once a coherent representation is constructed, use of abstract premises will limit the possibility of adding additional models to the initial representation, irrespective of allotted time. Thus, initial model use with abstract premises will show the following time-related pattern. Severely reducing processing time should hamper the generation of a coherent representation and hence result in a very low proportion of initial models. If reasoners are given more time (sufficient to adequately process the premises), they will be able to construct a unified representation, the simplest form of which is the initial model. But, with abstract premises, reasoners will have difficulty accessing the additional information needed to flesh out the initial model, which will result in a stronger tendency to use initial models for reasoning. This latter prediction is indeed consistent with the results of Schroyens and Braem (2011), which showed evidence of initial model responding with abstract premises with no time constraints.

Finally, although the notion of an initial model representation was derived from Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002), other approaches to reasoning such as the suppositional theory of conditionals (J. S. B. T. Evans & D. E. Over, 2004), also suggest some form of initial model use. According to this latter, reasoners approach conditionals in a way that reflects their real-life statistical characteristics. Suppositional theory supposes that the inferential process uses a subjective estimation of the probability of the conditional statement and that this

estimation is done by evaluating the probability of the consequent given that the antecedent is true (i.e., the conditional probability of Q given P , $p(Q|P)$). This particular representation of the conditional conflicts with that of Mental Model theory (however see Schroyens, Schaeken & Dieussaert, 2008 for a different point of view). Suppositional approaches concentrate on evaluation of the probabilities of conclusions. Evans, Handley and Over (2003) and Oberauer and Wilhelm (2003) observed that a significant subgroup of adult reasoners estimated the probability of a conditional “If P , then Q ” as equivalent to the probability of the conjunction of P and Q (i.e., $p(P \& Q)$). It was suggested that these individuals could be “shallow processors” who failed to go beyond an initial model representation of the premises (Evans et al., 2003, p. 334). This interpretation is reinforced by the results of Fugard, Pfeifer, Mayerhofer and Kleiter (2011) who showed that people who judged the probability of the conditional as equivalent to $p(P \& Q)$ processed conditionals more rapidly than those who judged it as equivalent to $p(Q|P)$. These results, although from a different theoretical perspective, suggest that initial models may underlie even some probabilistic evaluations, although they remain indirect.

6.4 Experiment 1

In this experiment, we attempted to examine the potential generation of patterns of reasoning consistent with the initial model when controlling for the possible use of a matching strategy. We specifically used premises describing arbitrary relations between figures and colors, which contained an explicit negation in both the antecedent and the consequent terms of the major premises (e.g., “If a figure is not a square, then it is not red.”). This manipulation gives rise to negative minor premises and negative conclusions for both MP and AC, and positive minor premises and conclusions for both DA and MT (since we converted double negations to positive forms in all cases). The inclusion of explicit negations in the major premises allows for a distinction between responding based on an initial model representation and a matching response. Participants using the former representation would accept

the MP and AC inferences and reject the DA and MT inferences. Participants using a matching strategy would accept the DA and MT inferences and reject the MP and AC inferences.

The premises used here were chosen to involve unrelated terms in order to increase the probability of reasoners being unable to flesh out initial models, something that should be amplified by inclusion of negations. We examined the impact of restricting processing time by comparing reasoning with allotted times of 9 s, 15 s, or an unlimited amount of time. We chose 9 s as the shortest time since pretesting showed that 9 s is close to the least amount of time required to adequately process these complex premises.

Finally, participants were presented with five inferences of each conditional form. These repeated measures allow an analysis of individual patterns of responses, and is a key point in our analyses. The most common way of establishing the presence of a given form of representation involves examining statistical patterns of responses. However, such overall patterns might be the result of a combination of different strategies. The approach that we use here looks at patterns of responses across several problems. With a sufficiently stringent criterion, we can conclude with a high degree of certainty that a reasoner has consistently used a specific representation. This allows an unambiguous interpretation of patterns of responses, although it does not allow detection of partial use of a representation. There is thus a trade-off between certainty of interpretation and accuracy of estimation of overall strategy use.

6.4.1 Method

6.4.1.1 Participants

A total of 133 university students (85 females, 48 males; average age = 22 years, 1 month) were randomly assigned to one of the three time conditions: short time ($n=55$), long time ($n=48$) or unlimited time ($n=30$). Note that a programming

error led to relatively fewer participants receiving the unlimited time condition than the two conditions with restricted processing times.

6.4.1.2 Materials and procedure

A computer program was created using Java. The opening screen asked for demographic information. Participants were then informed that they were to respond to inferential problems consisting of two statements followed by a conclusion and that they would have to determine whether the conclusion is certain or not. Participants were also informed of the time allotted (which was either 9 s, 15 s, or unlimited) and had to perform three trial problems. Participants then received a sequence of 20 inferential problems. Each of these had the same format. At the top was the "if-then" conditional statement, below which was the minor premise followed by a conclusion. Reasoners were asked to indicate whether or not the suggested conclusion was certain, by clicking on one of two buttons (indicating "the conclusion is certain" or "the conclusion is not certain"). These were located next to each other in the middle of the screen directly below the suggested conclusion. In all cases, the suggested conclusion was the biconditional response to a given inference, e.g., if the minor premise corresponded to "Q is false" the suggested conclusion was "P is false". This screen had a progress bar that acted as a visible indicator of the time remaining. The bar was initially green, and was divided into five equal segments. Each segment disappeared after 1/5 of the total time allotted had passed. The bar turned red at the final segment.

The major premises used were conditionals describing arbitrary relations between figures and colors with an explicit negation in both the antecedent and consequent. These were:

1. If the figure is not a square, then it is not red.
2. If the figure is not a triangle, then it is not green.

3. If the figure is not a circle, then it is not blue.
4. If the figure is not a star, then it is not yellow.
5. If the figure is not a heart, then it is not black.

For each major premise, the four inferential forms (MP, MT, AC and DA) were constructed by affirming or negating either the antecedent or the consequent term in the minor premise, giving a total of 20 different inferential problems. These 20 inferences were presented in a random order for a given participant.

6.4.2 Results

Initially, we computed the number of times that participants did not give any response to a problem, for each inferential form. There were no non-responses in the unlimited time condition, so we examined variation for the two limited time conditions. We performed an ANOVA with the number of non-responses as the dependent variable and Time (9 s, 15 s) as a categorical independent variable. This showed a significant effect of Time, $F(1, 101) = 14.10, p < .001$. When participants received 15 s, they gave fewer non-responses (1.5% of trials) than when they received the shorter time period (6.2% of trials). In order to make results comparable across time conditions, we only retained participants who responded to at least four of the five problems for each of the four inferential forms. This led to discarding of eight participants in the 9-second condition and one participant in the 15-second condition.

For each inferential form, we then computed the mean percentage of responses (discarding non-responses) for which the suggested conclusion was accepted. In order to identify individual patterns, we used the following criteria. We defined two threshold values: an *acceptance* threshold, which was set at 75%, and a *rejection* threshold, which was set at 25%. Participants were considered to have consistently accepted the conclusion for a specific logical form if they did so at a level equal to or greater than the acceptance threshold. Similarly, participants were

considered to have consistently rejected a conclusion for a specific logical form if they did so at a level equal to or below the rejection threshold. Thus, only participants who accepted the conclusion to at least four out of five inferences of a given kind (or to at least three out of four inferences, when there was one non-response), were considered to have consistently accepted this inference.

Using these two threshold values, we were able to identify participants who clearly accepted or rejected any specific combination of the four inferences. As there was a great deal of variability in the specific patterns observed, we grouped these into the following categories. Participants who consistently accepted the MP and AC inferences and consistently rejected the DA and MT inferences were classed as having produced an *Initial Model* pattern. Participants consistently accepting the DA and MT inferences and rejecting the MP and AC inferences were classed as having produced a *Matching* pattern. Participants who consistently accepted all four inferences were classed as having produced a *Biconditional* pattern. Since none of the other consistent patterns were frequent enough to enumerate individually, all participants who produced other consistent patterns of acceptances or rejections for all of the four inferences were grouped in the *Consistent Other* category. A great many participants did not show the same degree of consistency, but we identified some interesting patterns. Many participants accepted the MP inference at a high level, but showed inconsistent patterns of acceptance of the other three inferences. These were classed into the *MP High* category. Similarly, some participants consistently rejected the MP inference with inconsistent patterns for the other three. These were grouped into the *MP Low* category. All other participants were grouped into the *Other* category. Table 6.1 shows the mean rates of production of each response category with corresponding acceptance rates for the four inferences for each level of time.

Inspection of Table 6.1 clearly shows that in the 15 s and the unlimited time conditions, the number of Initial Model patterns was relatively high (accounting for

close to 17% of total participants). In the former condition, this was the single most frequent consistent pattern, while in the unlimited condition, it was the second most frequent consistent pattern, just behind the Biconditional pattern. In contrast, inspection of Table 6.1 shows that only two participants produced a Matching pattern across all time conditions.

Now, before further considering the significance of these results, we need to determine whether the observed level of Initial Model patterns can be considered to be above chance. One way of doing this calculation would simply be to compare observed values to those that would be produced if participants responded randomly. However, a more ecological way of doing so would be to consider that each inference form has a natural tendency, which is reflected in the overall rates of acceptance of each form. This actually produces a more stringent criterion than assuming random responding, and so we decided to use this.

We first computed the mean endorsement rate for each inferential form. This gave .74 for the MP, .58 for the AC, .45 for the DA and .39 for the MT. Our basic calculation then used the following procedure. For the MP inference, we calculated the probability of a participant accepting at least four out of five MP inferences when they had a probability of .74 of accepting a single MP inference, which came to .61. The same calculation for the AC inference gave a value of .30. For the DA inference, we calculated the probability of a participant rejecting at least four out of five DA inferences, when they had a probability of .55 of rejecting a single DA inference, which came to .26. The same calculation for the MT inference gave a value of .35. The probability of a single participant producing a pattern of responses in which the MP and AC inferences were consistently accepted and the DA and MT inferences were consistently rejected was thus $.61 \times .30 \times .26 \times .35$, which gave an overall value of .017, which is the probability of a single participant randomly generating an Initial Model pattern. Our criteria also considered that participants who gave a single non-response, and who responded to three out of four total inferences in the same way

were giving a consistent response pattern (note that responding to three out of five inferences would be below the criterion). We then reran the calculation to account for participants who gave a single non-response to each of the inferential forms. The probability of any such participant randomly producing an Initial Model pattern was .061. The actual overall probability was then determined by the relative numbers of participants who responded to all five problems for each form, and those who did not. As might be expected, the number of participants who responded to all 20 problems decreased with decreasing time, going from 100% with unlimited time, to 81% with 15 s, and to 44% with 9 s. Thus, a conservative estimate of the overall probability of randomly achieving the criterion for production of an Initial Model pattern was approximately .04, which is the value we used.

For the 15-second condition, 8 of the 47 participants produced an Initial Model pattern, which was significantly different from chance ($p < .001$). For the unlimited time condition, 5 of the 30 participants produced an Initial Model pattern and this was also significantly different from chance ($p = .006$). In contrast, for the 9-second condition, only 1 of 47 participants generated an Initial Model pattern, which was highly probable to have been produced by chance ($p = .85$).

We then examined the influence of time constraints on the relative proportion of participants producing Initial Model patterns. An ordinal logistic analysis was performed with production or not of Initial Model patterns as dependent variable and Time as a categorical independent variable. This showed a significant effect of Time, $\chi^2(2, N = 124) = 7.83, p = .02$ (two-tailed). Considering the predicted increase in the proportion of participants producing an Initial Model pattern with additional time, post-hoc comparisons between the three time conditions were computed using one-tailed chi-square test with a Bonferroni correction. This revealed a significant difference in the percentage of participants consistently using initial models between the 15-second condition (17.0%) and the 9-second condition (2.1%), $\chi^2(1, N = 94) = 6.77, p = .015$ (one-tailed), as well as between the unlimited time condition (16.7%)

and the 9-second condition (2.1%), $\chi^2(1, N = 77) = 5.43, p = .03$ (one-tailed). There was no significant difference between the 15-second condition and the unlimited time condition. Finally, it is worth mentioning that this increase in the percentage of participants producing Initial Model patterns between the short and the longer times is precisely mirrored by the corresponding decrease in the percentage of participants in the Other category; a category which seems to consist mostly of random responding, especially given the 52% acceptance rate of the MP inferences.

Table 6.1

Number of response categories and mean percentage acceptance of all four inference forms as a function of allotted time for arbitrary premises with negations.

Time	Category	N	Logical form			
			MP	AC	DA	MT
9 s	Initial Model	1 (2.1)	80.0	100.0	0.00	20.0
	Matching	0 (0.0)	-	-	-	-
	Biconditional	1 (2.1)	100.0	100.0	80.0	80.0
	Consistent Other	4 (8.5)	-	-	-	-
	MP High	19 (40.4)	87.4	51.3	44.5	41.3
	MP Low	2 (4.3)	10.0	55.0	30.0	45.0
	Other	20 (42.6)	52.0	54.3	48.3	38.0
15 s	Initial Model	8 (17.0)	100.0	97.5	7.5	5.0
	Matching	2 (4.3)	10.0	10.0	90.0	100.0
	Biconditional	2 (4.3)	100.0	90.0	80.0	80.0
	Consistent Other	6 (12.8)	-	-	-	-
	MP High	17 (36.2)	92.7	60.0	38.8	29.4
	MP Low	3 (6.4)	20.0	86.7	66.7	60.0
	Other	9 (19.1)	51.1	55.6	52.8	51.1
Unlimited	Initial Model	5 (16.7)	96.0	92.0	4.0	4.0
	Matching	0 (0.0)	-	-	-	-
	Biconditional	6 (20.0)	93.3	96.7	90.0	96.7
	Consistent Other	3 (10.0)	-	-	-	-
	MP High	9 (30.0)	91.0	71.1	44.4	33.3
	MP Low	2 (6.7)	10.0	10.0	60.0	20.0
	Other	5 (16.7)	56.0	56.0	60.0	48.0

Numbers in parentheses = % of total.

6.4.3 Discussion

In this experiment, we presented participants with abstract premises containing explicit negations in both the antecedent and consequent terms. These were designed to allow a clear distinction between patterns produced by use of a matching strategy and use of an initial model representation. The results show that a significant percentage of participants (around 17%) in both the 15-second and the unlimited time conditions produced patterns of responses indicating consistent use of initial models. Our method allowed distinguishing these response patterns from those due to use of a matching strategy. In fact, very few participants produced patterns of responses consistent with use of a matching strategy. Thus, when given the complex premises used in this experiment, involving basically unrelated terms with explicit negations (e.g., "If the figure is not a square, then it is not red."), a significant percentage of participants consistently used initial models, even when given as much time as needed.

It is worth noting that the criterion we used to determine initial model use was quite strict, with less than two chances in 50 of a single participant producing an initial model pattern by chance. Thus, our results show that with the premises used in this experiment, around 17% of all participants clearly and consistently used initial models across a large set of inferences, when given at least 15 s to process the premises. These patterns of responses are not explicable by any combination of representational strategies, or by use of a matching heuristic, and provide unambiguous evidence of initial model use.

The results also show a clear effect of time constraint on initial model production. The proportions of initial model patterns produced in the 15-second and in the unlimited time conditions were significantly higher than that observed in the 9-second condition (which did not differ from chance). The results are thus consistent with our basic analysis of the time course of reasoning with abstract premises. It is

worth repeating here that the premises used in this experiment are by their very nature quite complex and thus very difficult to process in a meaningful way. As predicted, this had two effects, both of which can be identified in the present pattern of results. First, even when a reasoner has enough time to adequately process the premises, there is a clear difficulty in interpreting them in any way except as a simple conjunction of the antecedent and consequent terms. Even with unlimited response time, the initial model pattern was produced by about 17% of participants, which was only slightly less than the most frequently produced pattern (the Biconditional). In the language of Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002), this shows the difficulty that reasoners have in fleshing out the initial model, given the lack of pragmatic or semantic cues.

Second, when not given enough time, reasoners have great difficulty forming a coherent representation of the premises. Thus, when given only 9 s to process problem premises, reasoners produce fewer initial model patterns than when given more time. In fact, with 9 s reasoners have great difficulty in constructing any consistent representation, while with 15 s this difficulty largely disappears. This interpretation is strongly reinforced by the fact that the percentage of participants who use any form of consistent representation goes from 13% at 9 s to 38% at 15 s. In addition, the fact that the relative rate of basically random responding (the Other category) decreases radically between the 9-second and the 15-second conditions also suggests that at 9 s most reasoners are not able to suitably process these complex premises.

Thus, the results are consistent with a two-phase model of processing. Initial processing of premises requires sufficient time to construct a unified representation of the premises. Failure to do so results in a strong tendency toward random responding. The present results suggest that the complex premises used in this experiment require more than 9 s for this initial stage of processing to be complete for a majority of reasoners. Importantly, no consistent initial model use was observed at 9 s, clearly

showing that this form of representation requires at least a minimal level of processing. The second phase involves an attempt to construct an integrated model of the premises that incorporates additional semantic or pragmatic information. An initial model representation is certainly one of the simplest, representing only the conjunction of the antecedent and consequent terms. The fact that the observed proportion of reasoners consistently using an initial model representation remains the same at 15 s and with unlimited time thus suggests that reasoners who consistently use this form of representation are doing so because of the lack of semantic or pragmatic cues.

6.5 Experiment 2

The results of the previous experiment are consistent with the idea that restricting the time required to make an inference will not in itself produce a significant tendency to generate initial model representations. Instead, they suggest that reasoners must have a minimum time to adequately process premises before they can construct a coherent representation. For complex, arbitrary premises the difficulty in finding alternative semantic or pragmatic cues would then make it difficult to go beyond an initial model representation, once the premises were processed. Our first experiment used premises with explicit negations, but if the key dimension is indeed the lack of extra semantic or pragmatic information resulting in initial model use, we should be able to observe the same effect with premises involving arbitrary relations, but without explicit negations. Specifically, for these kinds of premises, we should be able to find a time differential which produces an increase in initial model production with an increase in time. Of course, given the relative simplicity of these premises, a shorter time would be required for adequate processing. Pretesting suggested that the transition between 6 and 8 s would be appropriate. We specifically predicted that more reasoners would produce initial model patterns when given 8 s to respond than when given 6 s.

6.5.1 Method

6.5.1.1 Participants

A total of 67 university students (40 females, 27 males; average age = 19 years, 2 months) were randomly assigned to one of two time conditions: short time ($n=35$) or long time ($n=32$).

6.5.1.2 Materials and procedure

The procedure was identical to that used in Experiment 1, except that times allotted were 6 s and 8 s and premises were the same without the explicit negations in the major premise.

6.5.2 Results and Discussion

Initially, we computed the number of times that participants did not give any response to a problem, for each logical form. We performed an ANOVA with the number of non-responses as the dependent variable and Time (6 s, 8 s) as categorical independent variable. There was no significant effect of Time, $F(1, 65) = 1.15, p = .3$. Overall rates of non-responses were similar, and relatively low, at both times (9.1% at 6 s and 5.5% at 8 s).

As before, we retained only participants who responded to at least four of the five problems for each of the four inferential forms. This eliminated five participants in the 6-second condition and four participants in the 8-second condition. We then examined production of the different response patterns (see Table 6.2).

Table 6.2
Number of response categories and mean percentage acceptance of all four inference forms as a function of allotted time for arbitrary premises without negations.

Time	Category	N	Logical form			
			MP	AC	DA	MT
6 s	Initial Model	1 (3.3)	80.0	100.0	0.0	0.0
	Consistent Other	5 (16.7)	-	-	-	-
	MP High	13 (43.3)	89.2	53.1	42.3	37.3
	MP Low	1 (3.3)	0.0	100	40.0	0.0
	Other	10 (33.3)	55.0	69.0	42.0	41.5
8 s	Initial Model	5 (17.9)	100.0	96.0	12.0	17.0
	Consistent Other	5 (17.9)	-	-	-	-
	MP High	10 (35.7)	89.5	48.0	38.5	47.0
	MP Low	1 (3.6)	0.0	80.0	60.0	40.0
	Other	7 (25.0)	48.6	59.3	38.6	36.4

As previously, we computed acceptance rates across completed responses. Using the same criteria as in Experiment 1, we then calculated the probability that the number of Initial Model patterns observed at each time condition was produced by chance. For the 6-second condition, only 1 of the 30 participants produced an Initial Model pattern, a level which was probably the result of chance ($p = .70$). On the other hand, for the 8-second condition, 5 of the 28 participants produced an Initial Model pattern, a level which was unlikely to be the result of chance ($p = .005$).

An ordinal logistic analysis was performed with production or not of an Initial Model pattern as dependent variable and Time as a categorical independent variable. We used a one-tailed comparison because of the expected increase in the proportion of participants producing Initial Model patterns use with additional response time. This showed a significant effect of Time, $\chi^2(1, N = 58) = 3.54, p = .03$ (one-tailed).

The results of this experiment thus confirm our predictions. When given 6 s to respond, the number of reasoners who produced an Initial Model pattern is not significantly above chance. However, at 8 s the number of such reasoners is significantly above chance levels. The lack of initial model use in the short time

condition indicates that participants needed at least 8 s to generate an initial model when processing the kind of premises we used here.

6.6 Experiment 3

The results of the first two experiments show that reasoning with unrelated premises does indeed produce a significant proportion of reasoners who consistently use initial model representations when given enough time to adequately process the premises. Both experiments show that when reasoners are given relatively short times to process these kinds of premises, they do not use initial models. Rather, a minimum processing time is required before any significant generation of initial model representations is observed. This suggests that, for these kinds of premises, too little time creates a difficulty in generating a unified representation of the antecedent and consequent terms, which is a necessary step before initial model use. This conclusion is reinforced by the fact that the time required before consistent initial model use is observed varies with premise complexity. These results clearly suggest that the major factor in consistent initial model use is the relative difficulty in fleshing out unrelated premises for which there are few semantic or pragmatic cues allowing access to additional forms of information.

In other words, the results of the first two experiments appear to show that simply reducing the time that reasoners have to process premises does not in itself induce any strong tendency to initial model use. However, this conclusion remains limited by the use of arbitrary premises, which certainly require more complex processing. A clearer indication of the simple effect of time is given by use of familiar premises, which allow easier construction of a unified representation. This suggests that reasoning with familiar premises might show a significant proportion of initial model responding under a short time constraint. However, reasoners should be able to flesh out more elaborate representations fairly easily with such premises.

Consequently, the time constraint must be extremely short to allow observation of initial model responding.

Now, previous results (Lortie Forgues & Markovits, 2010) indicate that when given 8 s to process familiar premises, there are no consistent signs of initial model use. If simple time constraint does produce a tendency to initial model use, then we must examine even shorter processing times. We thus examined reasoning patterns with familiar premises using two shorter times, 5 s and 7 s. Finally, we also included an unlimited time condition. Although there are clear reasons to expect very little initial model use with familiar premises with no time constraints, we decided to corroborate this.

6.6.1 Method

6.6.1.1 Participants

A total of 68 university students (45 females, 23 males; average age = 20 years, 6 months) were randomly assigned into three time conditions: short time ($n=25$), long time ($n=26$) or unlimited time ($n=17$).

6.6.1.2 Materials and procedure

The procedure used was exactly the same as those used in the previous experiments, except that there were three time conditions, short time (5 s), long time (7 s) and an unlimited time. The major premises were familiar causal conditionals. These were taken from Lortie Forgues and Markovits (2010) and were:

1. If Simon is afraid, then his teeth chatter.
2. If Jean-Pierre suffers from allergies, then he blows his nose.
3. If a dog has a skin disease, then it will scratch itself.
4. If Melinda bites her finger, then her finger will bleed.

5. If the exam is hard, then Julie will get a bad mark.

6.6.2 Results and Discussion

Initially, we computed the number of times that participants failed to give a response for each logical form. There were no non-responses in the unlimited time condition, so we examined variation for the two limited time conditions. We performed an ANOVA with the percentage of non-responses as the dependent variable and Time (5 s, 7 s) as a categorical independent variable. This showed a significant effect of Time, $F(1, 49) = 16.21, p < .001$. There were more non-responses in the 5-second condition (17.2% of trials) than in the 7-second condition (4.6 % of trials).

As before, we retained only participants who responded to at least four of the five problems for each of the four inferential forms. This eliminated 13 participants in the 5-second condition, and four participants in the 7-second condition. It is worth noting that the high proportion of participants eliminated in the 5-second condition reflects the fact that this short a time is clearly at the limit of people's capacity to adequately process any premise. We then examined the proportion of the different response patterns (see Table 6.3).

As we can see, in the 5-second condition, only 1 participant out of 12 produced an Initial Model pattern, a level which is relatively likely to be the result of chance ($p = .39$). Similarly, in the 7-second condition, only 1 participant out of 22 produced an Initial Model pattern, which is highly likely to be the result of chance ($p = .59$). As expected, none of the participants produced an Initial Model pattern when given unlimited time.

Table 6.3

Number of response categories and mean percentage acceptance of all four inference forms as a function of allotted time for familiar premises without negations.

Time	Category	N	Logical form			
			MP	AC	DA	MT
5 s	Initial Model	1 (8.3)	100.0	80.0	20.0	25.0
	Consistent Other	1 (8.3)	-	-	-	-
	MP High	3 (25.0)	91.7	66.7	66.7	40.0
	Other	7 (58.3)	52.9	69.3	32.1	44.3
7 s	Initial Model	1 (4.5)	80.0	100.0	20.0	0.0
	Consistent Other	1 (4.5)	-	-	-	-
	MP High	12 (54.5)	95.0	52.1	42.5	55.4
	Other	8 (36.4)	50.0	55.0	43.8	65.0
Unlimited	Consistent Other	7 (41.2)	-	-	-	-
	MP High	8 (47.1)	100.0	35.0	47.5	65.0
	Other	2 (11.7)	60.0	80.0	30.0	40.0

Finally, it is useful to examine the pattern that we have classed as MP High. Participants accepted the MP inferences at a very high rate, but showed no clear consistency in the other three forms. It is difficult to clearly interpret just what this pattern corresponds to, since it is consistent with a variety of possible strategies. For example, while the proportion of MP High patterns is similar across all the experiments, the detailed pattern of responses differs. In Experiment 1, responses categorized as MP High resemble the initial model pattern, where the acceptance rate of the AC inference is higher than the DA and MT inferences. In the present experiment, the distribution of responses more closely resembles a conditional pattern (since the MP and MT inferences are more strongly accepted than the AC and DA inferences). This suggests that this single category might be the result of use of a variety of reasoning strategies.

6.7 General Discussion

One of the more interesting, and untested, tenets of Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002) is the idea that people will reason on the basis

of a limited representation of premises (the initial model), especially when they have limited cognitive resources. When reasoning with if-then conditionals, this suggests that people will use a representation that includes only the antecedent and consequent terms, leading to a pattern of inferences where the MP and AC inferences are accepted, and the DA and MT inferences are rejected. Studies relying on overall patterns of variation in reasoning are suggestive, but have not provided any unambiguous evidence that people do in fact reason with initial models. Further, existing results cannot allow elimination of use of a simple matching strategy that could in principle account for many of the results that are on the surface consistent with initial model use. In the present experiments, we have adopted an approach that relies on identifying individual patterns of reasoning, based on examining the consistency with which an individual reasoner accepts or rejects repeated instances of the same inference. This allows us to unambiguously identify individual reasoners who consistently use the same representation to process repeated instances of the four logical forms that characterize conditional reasoning.

The first result of the present experiments is that they allow direct, clear evidence that people do consistently use initial model representations while eliminating the possibility that a matching strategy might underlie production of this response pattern. Experiment 1 shows that when given unrelated premises with explicit negations constructed explicitly to allow distinguishing between initial model use and a matching strategy, very few participants use a matching strategy to evaluate conclusions. Instead, when given enough time to process these premises, close to 17% of participants generated a consistent pattern of initial model responses, a rate that is well above chance even with the quite conservative criterion that we used here.

Before going any further, we need to specify that this proportion is not an accurate estimation of the actual rate of initial model use. The criterion used here was designed to assess with a high degree of certainty that a reasoner consistently used an initial model representation across many inferential problems. This allows very

strong evidence for the existence of initial model use, which was the aim of these experiments. The proportion of participants consistently using an initial model representation provides a lower bound for overall initial model use, since partial use is not considered. Participants who showed a combination of initial model and random responding, or participants who used an initial model and a more elaborated representation on some of the problems would not meet our criterion. For example, the pattern of responses of participants categorized as MP High, in the 15-second and the unlimited time conditions of the first experiment, clearly resemble that of an initial model pattern. This suggests that many of the participants in this category probably used an initial model to some extent, but were not consistent enough to meet our criterion.

The experiments also suggest that the time course of reasoning consists of two distinct phases. The initial phase requires that a reasoner constructs a coherent representation of the premises. The results of Experiments 1 and 2 clearly show that when the relation between antecedent and consequent terms is arbitrary, this process takes more time, in line with Klauer et al., (2000)'s analysis of reasoning. In addition, these experiments indicate that the time required to construct a coherent representation varies with the complexity of the premises, such that arbitrary premises containing explicit negations require more time than arbitrary premises without negations. Critically, these experiments show that initial model use is primarily the result of the difficulty that reasoners have in adding information to the initial representation of the premises. Consistent use of an initial model representation at a rate greater than chance is only found with arbitrary premises. With familiar premises, even a very strong time constraint is insufficient to produce any significant tendency toward initial model use. In other words, although we cannot completely eliminate the possibility that time alone can generate some tendency toward initial model use, our results clearly show that a much more important factor is the difficulty involved in fleshing out the initial representation of arbitrary premises.

The priority of premise type over simple time has some implications for Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002). In particular, the absence of any strong tendency to use initial models under even severe time constraints with familiar premises indicates that with these more common forms of reasoning, initial model use is not a default. This suggests that when reasoners are able to form a coherent representation of the premises, they will very rapidly construct more complex representations. This is supported by the results of a priming study of Espino, Santamaria and Byrne (2009) which showed that people rely on an elaborate mental model representation (including the “ $\neg P \rightarrow Q$ ” model) when processing familiar conditional statements. Thus, while the results of the present experiments are consistent with some postulates of the Mental Model theory, they are more compatible with theories that incorporate a mechanism that postulates an active, and relatively automatic process of information retrieval when meaningful conditionals are processed (Evans & Over, 2004; Oaksford & Chater, 2001). However, they do provide unambiguous evidence for the existence of what appears to be an unusual pattern of inferences.

Although the aim of the present study was to test a specific postulate of Mental Model theory (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002), other theoretical contexts might also be able to account for the use of initial model representations. For example, the Suppositional theory (Evans & Over, 2004), discussed earlier, attempts to explain the existence of conjunctive patterns in truth-table tasks by the idea that some reasoners are only able to process conditionals superficially (Evans, Handley, Neilens & Over, 2007). These reasoners focus only on the conditional probabilities that define the MP and AC inferences (although see Schroyens & Braem, 2011 for a critique of this idea). Thus, future research should investigate if participants who consistently used an initial model representation assign different degrees of confidence to the MP and AC inferences. Nevertheless, while other theories can in principle account for initial model use, they are not able to do so with any degree of

facility. The demonstration of the existence of initial model responding and of the time course of reasoning shown in these experiments thus remains a challenge.

6.8 References

- Barrouillet, P., & Lecas, J. F. (1998). How can mental models account for content effects in conditional reasoning? A developmental perspective. *Cognition*, 67, 209-253. doi:10.1016/S0010-0277(98)00037-7
- Barrouillet, P., & Lecas, J. F. (1999). Mental models in conditional reasoning and working memory. *Thinking and Reasoning*, 5, 289-302. doi:10.1080/135467899393940
- Bonnefon, J. F., & Vautier, S. (2008). Defective truth tables and falsifying cards: Two measurement models yield no evidence of an underlying fleshing-out propensity. *Thinking & Reasoning*, 14, 231-243. doi:10.1080/13546780802109968
- Carreiras, M., & Santamaria, C. (1997). Reasoning about relations: Spatial and nonspatial problems. *Thinking and Reasoning*, 3, 309-327. doi:10.1080/135467897394347
- De Vooght, A. V. G. (1997). Working memory constraints on linear reasoning with spatial and temporal contents. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50, 803-820. doi:10.1080/713755735
- Espino, O., Santamaria, C., & Byrne, R. M. J. (2009). People think about what is true for conditionals, not what is false: Only true possibilities prime the comprehension of 'if'. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, 1072-1078. doi:10.1080/17470210802602375
- Evans, J. St. B. T. (1998). Matching bias in conditional reasoning: do we understand it after 25 years? *Thinking and Reasoning*, 4, 45-82. doi:10.1080/135467898394247
- Evans, J. St. B. T. (2007). *Hypothetical thinking: Dual processes in reasoning and judgement*. New York, NY: Psychology Press.
- Evans, J. St. B. T. & Curtis-Holmes, J. (2005). Rapid responding increases belief bias: Evidence for the dual-process theory of reasoning. *Thinking & Reasoning*, 11, 382-389. doi:10.1080/13546780542000005
- Evans, J. St. B. T., Handley, S. J., & Bacon, A. M. (2009). Reasoning under time pressure: a study of causal conditional inference. *Experimental Psychology*, 56, 77-83. doi:10.1027/1618-3169.56.2.77

- Evans, J. St. B. T., Handley, S. J., Neilens, H., & Over, D. E. (2007). Thinking about conditionals: A study of individual differences. *Memory and Cognition*, 35, 1772-1784. doi:10.3758/BF03193509
- Evans, J. St. B. T., Handley, S. J., & Over, D. E. (2003). Conditionals and conditional probability. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 321-335. doi:10.1037/0278-7393.29.2.321
- Evans, J. St. B. T., & Over, D. E. (2004). *If*. New York, NY: Oxford University Press. doi:10.1093/acprof:oso/9780198525134.001.0001
- Fugard, A. J. B., Pfeifer, N., Mayerhofer, B., & Kleiter, G. D. (2011). How people interpret conditionals: Shifts towards the conditional event. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37, 635-648. doi:10.1037/a0022329
- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. M. J. (1991). *Deduction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. M. J. (2002). Conditionals: A theory of meaning, pragmatics and inference. *Psychological Review*, 109, 646-678. doi:10.1037/0033-295X.109.4.646
- Klauer, C., Musch, J., & Naumer, B. (2000). On belief bias in syllogistic reasoning. *Psychological Review*, 107, 852-884. doi:10.1037/0033-295X.107.4.852
- Lortie Forgues, H., & Markovits, H. (2010). Conditional reasoning under time constraint: Information retrieval and inhibition. *Thinking and Reasoning*, 16, 221-232. doi:10.1080/13546783.2010.503606
- Markovits, H. & Barrouillet, P. (2002). The development of conditional reasoning: A mental model account. *Developmental Review*, 22, 5-36. doi:10.1006/drev.2000.0533
- Oaksford, M., Chater, N., & Larkin, J. (2000). Probabilities and polarity biases in conditional inference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 26, 883-899. doi:10.1037/0278-7393.26.4.883
- Oberauer, K. (2006). Reasoning with conditionals: A test of formal models of four theories. *Cognitive Psychology*, 53, 238-283. doi:10.1016/j.cogpsych.2006.04.001
- Oberauer, K., & Wilhelm, O. (2003). The meaning(s) of conditionals: Conditional probabilities, mental models, and personal utilities. *Journal of Experimental*

Psychology: Learning, Memory & Cognition, 29, 680-693. doi:10.1037/0278-7393.29.4.680

Schaeken, W., Johnson-Laird, P. N., & d'Ydewalle, G. (1996). Mental models and temporal reasoning. *Cognition*, 60, 205-34. doi:10.1016/0010-0277(96)00708-1

Schroyens, W., & Braem, S. (2011). The initial representation in reasoning towards an interpretation of conditional sentences. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64, 339-362. doi:10.1080/17470218.2010.513734

Schroyens, W., Schaeken, W., & Dieussaert, K. (2008). "The" interpretation(s) of conditionals. *Experimental Psychology*, 55, 173-181. doi:10.1027/1618-3169.55.3.173

Wason, P. (1966). Reasoning. In B. M. Foss (Ed.), *New horizons in psychology* (pp. 135-151). Harmondsworth, Middlesex, England: Penguin.

CHAPITRE VII

DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION

7.1 Discussion

Les deux articles ont utilisé la méthode de contrainte de temps afin d'interrompre le mécanisme de raisonnement de façon prématurée. Cette méthodologie a permis d'en apprendre davantage sur les mécanismes cognitifs impliqués dans le raisonnement et la façon dont ceux-ci s'organisent dans le temps.

7.1.1 Retour sur la première étude

Dans la première étude, nous avons présenté des problèmes de raisonnement conditionnel construits avec deux types de contenu qui variaient quant à la quantité d'information contradictoire associée et nous avons contraint le temps alloué aux participants pour juger la validité de la conclusion. Seule la performance aux problèmes MP et MT ayant beaucoup d'information contradictoire associée a été affectée par la contrainte de temps et ce, à la baisse. La performance aux formes invalides AC et NA n'a pas été influencée par la manipulation. Ces résultats appuient le modèle de la Récupération Sémantique (Markovits & Barrouillet, 2002) qui prétend que la résolution des formes valides nécessite l'inhibition d'information contradictoire récupérée en mémoire, si on considère que la contrainte de temps utilisée dans l'étude a spécifiquement limité le processus d'inhibition. Ces résultats sont également consistants avec les résultats des études décrites précédemment qui

démontraient une relation entre les compétences d'inhibition et la performance aux formes valides (Markovits & Doyon, 2004; Simoneau & Markovits, 2003).

7.1.2 Retour sur la seconde étude

Dans la seconde étude de la thèse, nous avons de nouveau utilisé un paradigme de contrainte de temps, cette fois dans le but de tester un postulat de la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002) selon lequel les gens raisonnent sur la base du modèle initial quand leurs ressources cognitives sont limitées. Afin de tester cette hypothèse, nous avons présenté aux participants des problèmes de raisonnement conditionnel et limité leurs ressources en réduisant le temps qu'ils avaient pour répondre. Dans une première expérience, nous avons présenté des prémisses au contenu abstrait. De plus, nous avons introduit des négations dans les prémisses majeures afin d'obtenir une négation dans la conclusion des formes MP et AC et éliminer la négation des conclusions aux formes MT et NA. Cette manipulation avait pour but de contrôler la tendance naturelle à accepter les conclusions positives et à nier les conclusions négatives (c.-à-d., le « matching »; Evans, 1998). De façon consistante avec la théorie des Modèles Mentaux, les résultats de l'étude démontrent sans équivoque l'existence d'un patron de raisonnement compatible avec le modèle initial.

Ensuite, nous avons reproduit la première expérience en utilisant un contenu abstrait sans négation (Expérience 2 de la seconde étude), ainsi qu'un contenu familier (Expérience 3 de la seconde étude) et ce, afin d'examiner si l'utilisation du modèle initial variait en fonction du contenu des problèmes. Un patron de raisonnement compatible avec le modèle initial était seulement observable quand le contenu des problèmes était abstrait. En effet, quand le contenu était familier, la proportion de raisonneurs utilisant une représentation sur la base du modèle initial ne dépassait pas le seuil de la chance et ce, malgré l'utilisation de trois niveaux de contrainte de temps (5 secondes, 7 secondes et un temps infini). Le fait qu'un patron

de raisonnement compatible avec le modèle initial n'ait été observé qu'avec un contenu abstrait (c.-à-d., un contenu pour lequel le sujet n'a pas de connaissance associée en mémoire) et non avec un contenu familier (c.-à-d., un contenu pour lequel le sujet a des connaissances associées) suggère que les gens utilisent leurs connaissances lorsqu'ils raisonnent et que celles-ci leur permettent d'étayer très rapidement leur représentation initiale. Cette hypothèse est consistante avec les modèles qui prétendent que les gens récupèrent automatiquement de l'information en mémoire et l'utilisent quand ils raisonnent avec des problèmes familiers (J. S. Evans & D. E. Over, 2004; Markovits & Barrouillet, 2002; Oaksford et al., 2000).

Les résultats suggèrent également que la *complexité* du contenu influence le temps nécessaire à la génération du modèle initial. En effet, quand les prémisses majeures n'avaient pas de négation (Expérience 2 de la seconde étude), la présence de patrons de réponse correspondant au modèle initial a été observée sous une contrainte de temps de 8 secondes. En comparaison, quand les prémisses majeures présentaient des négations (Expérience 1 de la seconde étude), ces patrons de réponse n'ont été observés que sous une contrainte de temps de 15 secondes. Une façon d'expliquer cette différence de temps nécessaire à la génération du modèle initial est de supposer que la construction du modèle requiert préalablement la génération d'une représentation stable des prémisses du problème, un processus dont le temps de complétion serait directement proportionnel à la complexité du problème. Dans le contexte de la deuxième étude, les prémisses avec des négations, étant plus complexes, auraient pris plus de temps à être intégrées dans une représentation stable. L'existence d'une telle étape qui précède le raisonnement et qui est influencée par la complexité des problèmes a déjà été avancée dans la littérature (Klauer, Musch, & Naumer, 2000). Cette interprétation est également consistante avec le fait que l'augmentation dans le temps de la proportion de patrons de réponse basés sur le modèle initial soit reflétée par une diminution de la proportion de réponses aléatoires (catégorie de patrons *Others* dans la seconde étude).

7.1.3 Implications pour les théories psychologiques du raisonnement conditionnel

À ce point, il est intéressant de discuter des implications que présentent les résultats des articles de la thèse aux principales théories du raisonnement conditionnel.

7.1.3.1 Théorie de la Logique Naturelle

Tel que mentionné précédemment, la théorie de la Logique Naturelle (Braine & O'Brien, 1991; Rips, 1983, 1994) considère que le raisonnement se base sur des règles prédéfinies dont l'application est déterminée uniquement par la forme abstraite des problèmes. Dans le cas du raisonnement conditionnel, la théorie postule l'existence d'une règle qui permet de résoudre automatiquement les problèmes ayant la forme du MP. Dans ce contexte, il est difficile d'expliquer les résultats de la première étude dans laquelle la contrainte de temps influençait la performance aux problèmes MP. En effet, si la résolution des problèmes MP est considérée comme étant automatique, il est difficile d'expliquer pourquoi la performance à ceux-ci aurait varié en fonction du temps.

L'influence variable de la contrainte temps en fonction du contenu est également difficile à concilier avec la théorie. En effet, si la théorie postule que le raisonnement est fondé sur l'application de règles basées uniquement sur la syntaxe des problèmes, il est difficile de comprendre pourquoi la contrainte de temps aurait eu un impact distinct sur des problèmes ayant la même forme syntaxique. Les résultats de la première étude ne supportent donc pas l'idée centrale de la théorie de la Logique Naturelle selon laquelle le raisonnement se fait sur la base de règles.

En ce qui a trait à la seconde étude, la théorie de la Logique Naturelle rend difficilement compte de la présence d'un patron de réponse consistant avec le modèle initial. Celle-ci n'explique pas pourquoi certains raisonneurs présenteraient un tel patron de réponse. Il est difficile, en effet, d'expliquer pourquoi les formes MP et AC seraient acceptées de façon constante, considérant que les processus qui sous-tendent

la résolution des deux formes sont, selon la théorie, qualitativement différents. Évidemment, il est possible d'accommoder la théorie en invoquant des erreurs lors du processus d'interprétation (voir Section 2.3.1). Des participants auraient pu constamment interpréter la relation conditionnelle « si P, alors Q » comme étant équivalente à la relation « si Q, alors P », ce qui les aurait amenés à accepter le MP et le AC. Cependant, la théorie n'explique pas pourquoi ces mêmes raisonneurs n'auraient pas également interprété la relation conditionnelle présentée comme étant équivalente aux relations « si non-Q, alors non-P » ou « si non-P, alors non-Q », ce qui les aurait amenés à accepter les conclusions des formes MT et NA, respectivement. Outre l'existence d'un patron compatible avec le modèle initial, l'influence du contenu des problèmes sur la présence de ce patron est également difficile à concilier avec l'idée centrale de la théorie selon laquelle les gens traitent de la même façon les problèmes syntaxiquement identiques. En effet, si les formes syntaxiquement identiques étaient traitées identiquement, les patrons de réponse ne devraient pas différer en fonction du contenu. Globalement, les résultats des articles de la thèse sont difficilement compatibles avec les postulats centraux de la théorie de la Logique Naturelle.

7.1.3.2 Théorie des Modèles Mentaux

Contrairement à la théorie de la Logique Naturelle, la théorie des Modèles Mentaux (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 2002) considère que le raisonnement se fait sur la base d'une évaluation de possibilités. Plus spécifiquement, la théorie suppose que les raisonneurs génèrent des modèles qui représentent des possibilités consistantes avec le problème et évaluent ensuite la validité de la conclusion en fonction des modèles construits. Un aspect central de la théorie concerne le fait que le nombre de modèles traités est limité par les ressources cognitives. Cette relation entre le nombre de modèles et les ressources permet de tirer des prédictions relativement claires concernant la première étude. Ainsi, lorsqu'ils doivent raisonner sous une contrainte de temps, les raisonneurs devraient minimiser le nombre de modèles traités

et possiblement raisonner uniquement sur la base d'une représentation minimale, le modèle initial.

Cette prédiction tirée de la théorie n'est pas appuyée par les résultats de la première étude. En effet, le patron de réponse observé lorsque les ressources sont contraintes avec un temps de réponse limité (temps *Short* dans la première étude) n'est pas compatible avec un raisonnement sur la base d'un modèle initial : les formes MP et AC n'étaient pas acceptées à l'unanimité et les formes MT et NA n'étaient pas constamment refusées (voir Tableau 4.1).

Dans le même ordre d'idées, la *variation* des performances aux quatre formes logiques causée par la réduction du temps de réponse n'est également pas compatible avec l'idée que les gens raisonnent avec moins de modèles lorsque leurs ressources sont limitées. En effet, la théorie postule trois types de représentations: une représentation basée sur le modèle initial, une représentation biconditionnelle et une représentation conditionnelle (voir Section 2.3.2). Ces trois représentations diffèrent quant au nombre de modèles impliqués et mènent à trois patrons de réponse distincts. Une représentation basée sur le modèle initial n'est fondée que sur un seul modèle mental et mène à l'acceptation du MP et du AC, ainsi qu'au refus du MT et du NA. Une représentation biconditionnelle est fondée sur deux modèles et mène à l'acceptation des quatre formes logiques. Finalement, une représentation conditionnelle est fondée sur trois modèles et mène à l'acceptation du MP et du MT, et au rejet du AC et du NA. Considérant ces aspects de la théorie, si les gens répondent sur la base de ces représentations et qu'ils ont tendance à raisonner avec le moins de modèles possible lorsque leurs ressources sont contraintes, il est possible d'identifier trois influences potentielles de la contrainte de temps. Sous une contrainte de temps, les gens pourraient régresser : (1) d'une représentation biconditionnelle vers une représentation initiale, (2) d'une représentation conditionnelle vers une représentation initiale ou (3) d'une représentation conditionnelle vers une représentation biconditionnelle. Pour chacune de ces régressions, il est possible de

déterminer de quelle façon l'acceptation aux quatre formes logiques serait influencée (voir Tableau 7.1).

Tableau 7.1
Trois niveaux de régression possibles et leur impact sur l'acceptation des quatre formes logiques

Régressions possibles	MP	AC	MT	NA
Biconditionnelle → Initiale	Égale	Égale	Diminution	Diminution
Conditionnelle → Initiale	Égale	Augmentation	Diminution	Égale
Conditionnelle → Biconditionnelle	Égale	Augmentation	Égale	Augmentation

Tel que décrit dans le Tableau 7.1, aucune des régressions tirées de la théorie des Modèles Mentaux n'est compatible avec la réduction spécifique de l'acceptation des formes MP et MT observée lorsque le temps était contraint. L'influence de la contrainte de temps de la première étude est donc difficile à intégrer dans le cadre de la théorie des Modèles Mentaux.

En ce qui concerne la seconde étude, bien que celle-ci ait démontré l'existence d'un postulat central à la théorie des Modèles Mentaux, certains aspects des résultats s'intègrent moins bien à ce contexte théorique. En premier lieu, la proportion de participants ayant démontré un patron de raisonnement compatible avec le modèle initial était relativement faible (au maximum 17%), ce qui peut paraître contradictoire à l'idée que ce phénomène est généralisé. Notons toutefois que le critère choisi dans l'étude, conçu pour être hautement spécifique et peu sensible, a possiblement mené à sous-estimer la proportion réelle de participants raisonnant sur la base du modèle initial. Le critère était en effet choisi pour identifier avec un haut niveau de certitude uniquement les participants ayant utilisé un patron initial de façon constante à la majorité des problèmes. Cette procédure a pour conséquence d'exclure par le fait

même les participants qui n'auraient pas réussi à répondre à la majorité des problèmes ou qui auraient étayé leur représentation initiale pour certains problèmes.

Un aspect de la seconde étude plus difficilement conciliable avec la théorie concerne l'absence de patron de réponse basé sur le modèle initial lorsque le contenu des problèmes était familier. Une façon d'expliquer cette absence est de postuler que lorsqu'ils traitaient un contenu familier, les raisonneurs auraient rapidement étayé leurs représentations initiales vers une représentation plus complexe. Ce phénomène aurait ainsi empêché la détection de patrons de modèle initial avec un tel contenu. Cette interprétation est toutefois difficile à intégrer dans le contexte de la théorie des Modèles Mentaux qui prétend que les gens disposent de connaissances préalables concernant les modèles qu'ils peuvent générer pour étayer leur représentation (Weidenfeld et al., 2005). En effet, si les raisonneurs ont déjà de telles connaissances, il est difficile d'expliquer pourquoi ceux-ci prendraient plus de temps à étayer leur représentation initiale lorsque le contenu est abstrait que lorsqu'il est familier.

7.1.3.3 Théorie de la Récupération Sémantique

Tout comme la théorie des Modèles Mentaux, la théorie de la Récupération Sémantique (Markovits & Barrouillet, 2002) considère que le raisonnement est réalisé par la construction de modèles et que la conclusion du problème est ensuite acceptée si elle est congruente avec l'ensemble des modèles générés. La théorie de la Récupération Sémantique se distingue toutefois du fait que les modèles ajoutés à la représentation correspondent à des connaissances empiriques en mémoire. Ainsi, dans le traitement d'un problème de raisonnement, le contenu du problème active de l'information en mémoire. Celle-ci est ensuite intégrée à la représentation en modèles du problème et influence la réponse au problème. La génération de modèles est donc dépendante du contenu du problème.

Tel que mentionné précédemment, les résultats de la première étude sont compatibles avec un postulat central de la théorie de la Récupération Sémantique,

selon lequel la résolution des formes valides MP et MT active la récupération d'information contradictoire et que, contrairement aux formes AC et NA, les raisonneurs doivent inhiber cette information pour répondre logiquement au problème. En effet, la contrainte de temps utilisée dans l'étude n'a affecté que la performance aux formes valides MP et MT, suggérant que la résolution de ces formes nécessite un processus additionnel d'inhibition. De plus, la contrainte de temps n'a démontré un impact que lorsque le contenu des prémisses évoquait beaucoup d'information contradictoire, appuyant ainsi cette interprétation.

À ce point, il est intéressant de discuter d'un autre postulat de la théorie de la Récupération Sémantique (Markovits & Barrouillet, 2002) selon lequel la résolution des formes invalides AC ou NA nécessite la récupération d'alternatives à l'antécédent. Bien que la contrainte de temps utilisée dans la première étude n'ait démontré aucune influence sur les formes invalides, il est possible de croire qu'en variant certains paramètres, une telle manipulation aurait pu limiter le processus de récupération d'alternatives et par conséquent augmenter l'acceptation des conclusions aux formes invalides. Or, nous avons tenté d'atteindre cet objectif à de multiples reprises, mais sans succès. En effet, nous avons réalisé plusieurs variations du devis de la première étude dans le but d'influencer la performance aux formes AC et NA. Nous avons utilisé deux techniques différentes pour contraindre les ressources cognitives (c.-à-d., contrainte de temps, tâche secondaire qui charge la mémoire de travail) et différents niveaux de contraintes pour chacune de ces techniques. Nous avons également testé trois types de contenu (c.-à-d., peu d'alternatives, beaucoup d'alternatives, une seule alternative fortement associée). De façon générale, les résultats de ces tentatives n'ont pas démontré d'influence claire sur la performance aux formes invalides. Bien qu'il soit difficile d'interpréter une absence d'effet statistique, ces résultats pourraient suggérer que le processus de récupération d'alternatives soit plus automatisé que le mécanisme d'inhibition et donc moins

influençable par une diminution de ressources. Cette hypothèse demeure toutefois à être appuyée par des résultats empiriques plus concluants.

En ce qui concerne la seconde étude de la thèse, la présence d'un patron de réponse basé sur le modèle initial n'est pas incompatible avec la théorie de la Récupération Sémantique. Ce dernier modèle théorique est une extension de la théorie des Modèles Mentaux et ne fait pas de prédiction distincte concernant l'existence d'une représentation initiale. La théorie de la Récupération Sémantique se distingue toutefois du fait que les modèles mentaux ajoutés à la représentation initiale sont directement issus des connaissances des raisonneurs. Cette spécificité est particulièrement pertinente, puisqu'elle permet de rendre compte de l'absence de patron de modèle initial quand le contenu des problèmes était familier. Un contenu familier, contrairement à un contenu abstrait, est fortement associé aux connaissances en mémoire. Si la génération de modèles est directement liée à la présence des connaissances en mémoire, il est raisonnable de croire que l'étayage du modèle initial se fait plus rapidement lorsque le contenu est familier que lorsqu'il est abstrait. Il est donc possible qu'en raisonnant avec des problèmes au contenu familier, les participants aient généré rapidement une représentation complexe, empêchant d'observer un patron de réponse basé sur le modèle initial, même sous une forte contrainte de temps.

7.1.3.4 Théorie probabiliste

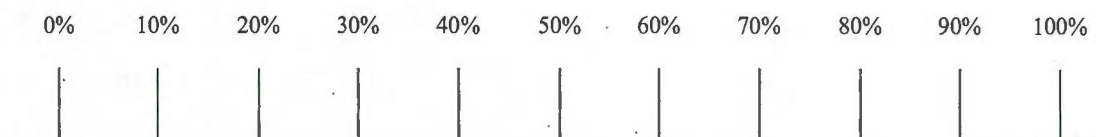
Finalement, en ce qui a trait aux théories probabilistes (J. S. Evans & D. E. Over, 2004; Oaksford et al., 2000), on peut mettre en évidence certains aspects des deux études qui sont compatibles avec ces modèles. En effet, l'influence générale du contenu sur les performances observées dans les deux études est compatible avec l'idée centrale de ces théories, selon laquelle les gens utilisent leurs connaissances lorsqu'ils raisonnent. D'autres aspects sont toutefois plus difficiles à concilier avec ces modèles, particulièrement l'effet de la contrainte de temps sur la performance

dans la première étude. En effet, bien que le processus par lequel le raisonnement est accompli soit peu explicité dans les modèles probabilistes (voir Section 2.3.4), certains auteurs ont avancé que le raisonnement était basé sur une évaluation probabiliste réalisée de façon intuitive et rapide par des heuristiques (Chater & Oaksford, 1999). Si tel est le cas, il est donc difficile d'expliquer pourquoi la contrainte de temps aurait un quelconque impact sur la performance. La présence de modèles initiaux avec les prémisses au contenu abstrait dans la seconde étude est également difficile à concilier avec les théories probabilistes. En effet, si les connaissances en mémoire sont à la base de la variabilité dans les réponses des participants, il est difficile d'expliquer comment les taux d'acceptation des conclusions aux quatre formes logiques pourraient varier lorsque le contenu des prémisses n'est associé à aucune connaissance en mémoire.

Notons toutefois qu'il est difficile d'évaluer les théories probabilistes sur la base des résultats des articles de la thèse sans apporter quelques nuances. Tel que mentionné précédemment, l'apport théorique central de ces modèles concerne le fait que lorsqu'ils raisonnent, les gens font une évaluation probabiliste de la conclusion. Conséquemment, dans la majorité des études empiriques sur lesquelles reposent les modèles probabilistes, on demande aux participants d'indiquer leur niveau de certitude dans la conclusion sur une échelle (voir Section 2.3.4). Ce mode de réponse est distinct de celui utilisé dans les études de la thèse, dans lesquelles nous demandions plutôt aux participants de juger si la conclusion était valide ou non (c.-à-d., un jugement de validité dichotomique) et il est pertinent de se questionner quant à l'influence potentielle de ce facteur dans le raisonnement. En effet, deux récentes études ont démontré que le mode de réponse influence la façon dont les gens raisonnent, suggérant que l'utilisation de modes de réponse distincts déclencherait l'utilisation de deux types de raisonnement qualitativement différents (Markovits et al., 2010, 2012). Il est donc possible qu'en demandant aux participants d'indiquer sur une échelle leur niveau de certitude dans la conclusion, les résultats des deux études

présentées aient été distincts de ceux rapportés. Dans cette perspective, nous avons répliqué la première étude en changeant le mode de réponse dichotomique pour un mode de réponse par échelle comme celui de la Figure 7.1.

Indiquez, sur l'échelle suivante, quelle est selon vous la probabilité que la conclusion soit vraie.



Figures 7.1 Échelle de réponse utilisée dans la réplification de la première étude

Plus spécifiquement, nous avons présenté à 69 participants les prémisses de la première étude qui présentaient beaucoup d'information contradictoire et avec lesquelles la contrainte de temps avait montré une influence sur les formes MP et MT. Nous avons également utilisé les mêmes niveaux de contrainte de temps. Contrairement aux résultats de la première étude dans laquelle la contrainte de temps avait spécifiquement influencé les formes valides, la version probabiliste de la tâche n'a révélé aucune influence de la contrainte de temps sur la performance à aucune des quatre formes logiques. Bien qu'il soit imprudent de tirer des conclusions d'une absence d'effet statistique, ces données préliminaires sont consistantes avec l'idée que le mode de réponse puisse engendrer deux modes de raisonnement qualitativement distincts (Markovits et al., 2010, 2012). Dans cette optique, il serait pertinent de répliquer la seconde étude de la thèse dans le but d'évaluer si le mode de réponse pourrait démontrer une influence sur les patrons individuels de réponse observés en tâche de raisonnement.

7.2 Conclusion

En conclusion, les articles présentés dans la thèse ont permis de faire différentes observations quant à la façon dont le raisonnement est influencé par une

contrainte de temps. En plus d'améliorer le bagage des connaissances empiriques, les résultats des études ont permis de préciser certains postulats du modèle de la Récupération Sémantique (Étude 1) et de la théorie des Modèles Mentaux (Étude 2). Bien que leur objectif théorique ait été distinct, les résultats des deux études sont compatibles avec l'idée selon laquelle la forme des problèmes, ainsi que leur contenu, influencent la performance en tâche de raisonnement, du moins quand les participants doivent juger de la validité de la conclusion. Toute théorie qui vise à expliquer exhaustivement la façon dont les gens raisonnent ne peut négliger l'influence de ces deux facteurs.

RÉFÉRENCES

- Barrouillet, P., & Lecas, J.-F. (1999). Mental Models in Conditional Reasoning and Working Memory. *Thinking & Reasoning*, 5(4), 289-302. doi: 10.1080/135467899393940
- Blanchette, I., Richards, A., Melnyk, L., & Lavda, A. (2007). Reasoning about emotional contents following shocking terrorist attacks: a tale of three cities. *J Exp Psychol Appl*, 13(1), 47-56. doi: 10.1037/1076-898x.13.1.47
- Braine, M. D. S., & O'Brien, D. P. (1991). A Theory of "If": A Lexical Entry, Reasoning Program, and Pragmatic Principles. *Psychological Review*, 98(2), 182-203.
- Byrne, R. M. (1989). Suppressing valid inferences with conditionals. *Cognition*, 31(1), 61-83.
- Byrne, R. M. (2005). *The Rational Imagination: How People Create Alternatives To Reality*: Mit Press.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33(3), 386-404. doi: 10.1016/0022-0965(82)90054-6
- Chater, N., & Oaksford, M. (1999). The probability heuristics model of syllogistic reasoning. *Cogn Psychol*, 38(2), 191-258. doi: 10.1006/cogp.1998.0696
- Chater, N., & Oaksford, M. (2004). Rationality, rational analysis, and human reasoning. In K. Manktelow & M. Chung (Eds.), *Psychology of Reasoning* (pp. 43-74).
- Cheng, P. W., & Holyoak, K. J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cogn Psychol*, 17(4), 391-416.
- Cummins, D. D. (1995). Naive theories and causal deduction. *Memory & Cognition*, 23(5), 646-658. doi: 10.3758/BF03197265

- Cummins, D. D., Lubart, T., Alksnis, O., & Rist, R. (1991). Conditional reasoning and causation. *Memory & Cognition*, 19(3), 274-282. doi: 10.3758/BF03211151
- De Neys, W., Schaeken, W., & d'Ydewalle, G. (2002). Causal conditional reasoning and semantic memory retrieval: a test of the semantic memory framework. *Mem Cognit*, 30(6), 908-920.
- Evans, J. S. (1998). Matching Bias in Conditional Reasoning: Do We Understand it After 25 Years? *Thinking & Reasoning*, 4(1), 45-110. doi: 10.1080/135467898394247
- Evans, J. S., Barston, J. L., & Pollard, P. (1983). On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory & Cognition*, 11(3), 295-306. doi: 10.3758/BF03196976
- Evans, J. S., & Over, D. E. (2004). *If*: Oxford.
- Evans, J. S., Over, D. E., & Handley, S. J. (2005). Suppositions, extensionality, and conditionals: a critique of the mental model theory of Johnson-Laird And Byrne (2002). *Psychol Rev*, 112(4), 1040-1052. doi: 10.1037/0033-295x.112.4.1040
- Evans, J. S. B. T., & Over, D. E. (2004). *If*. Oxford: Oxford University Press.
- Geiger, S. M., & Oberauer, K. (2007). Reasoning with conditionals: does every counterexample count? It's frequency that counts. *Mem Cognit*, 35(8), 2060-2074.
- George, C. (1995). The endorsement of the premises: Assumption-based or belief-based reasoning. *British Journal of Psychology*, 86(1), 93-111. doi: 10.1111/j.2044-8295.1995.tb02548.x
- George, C. (1997). Reasoning From Uncertain Premises. *Thinking & Reasoning*, 3(3), 161-189. doi: 10.1080/135467897394338
- Gigerenzer, G., & Goldstein, D. G. (1996). Reasoning the fast and frugal way: models of bounded rationality. *Psychol Rev*, 103(4), 650-669.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*: H. Holt and company.
- Janveau-Brennan, G., & Markovits, H. (1999). The development of reasoning with causal conditionals. *Dev Psychol*, 35(4), 904-911.

- Johnson-Laird, P. N. (1999). Deductive reasoning. *Annu Rev Psychol*, 50, 109-135. doi: 10.1146/annurev.psych.50.1.109
- Johnson-Laird, P. N., & Bara, B. G. (1984). Syllogistic inference. *Cognition*, 16(1), 1-61.
- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. M. (1991). *Deduction*: Erlbaum.
- Johnson-Laird, P. N., & Byrne, R. M. (2002). Conditionals: a theory of meaning, pragmatics, and inference. *Psychol Rev*, 109(4), 646-678.
- Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P., Girotto, V., Legrenzi, M. S., & Caverni, J. P. (1999). Naive probability: a mental model theory of extensional reasoning. *Psychol Rev*, 106(1), 62-88.
- Klauer, K. C., Musch, J., & Naumer, B. (2000). On belief bias in syllogistic reasoning. *Psychol Rev*, 107(4), 852-884.
- Lortie Forgues, H., & Markovits, H. (2010). Conditional reasoning under time constraint: Information retrieval and inhibition. *Thinking & Reasoning*, 16(3), 221-232. doi: 10.1080/13546783.2010.503606
- Lortie Forgues, H., & Markovits, H. (2012). In search of the elusive initial model. *Exp Psychol*, 59(6), 322-331. doi: 10.1027/1618-3169/a000160
- Markovits, H. (1984). Awareness of the 'possible' as a mediator of formal thinking in conditional reasoning problems. *British Journal of Psychology*, 75(3), 367-376. doi: 10.1111/j.2044-8295.1984.tb01907.x
- Markovits, H., & Barrouillet, P. (2002). The Development of Conditional Reasoning: A Mental Model Account. *Developmental Review*, 22(1), 5-36.
- Markovits, H., & Doyon, C. (2004). Information processing and reasoning with premises that are empirically false: interference, working memory, and processing speed. *Mem Cognit*, 32(4), 592-601.
- Markovits, H., Fleury, M. L., Quinn, S., & Venet, M. (1998). The development of conditional reasoning and the structure of semantic memory. *Child Dev*, 69(3), 742-755.
- Markovits, H., Lortie Forgues, H., & Brunet, M. L. (2010). Conditional reasoning, frequency of counterexamples, and the effect of response modality. *Mem Cognit*, 38(4), 485-492. doi: 10.3758/mc.38.4.485

- Markovits, H., Lortie Forgues, H., & Brunet, M. L. (2012). More evidence for a dual-process model of conditional reasoning. *Mem Cognit*, 40(5), 736-747. doi: 10.3758/s13421-012-0186-4
- Markovits, H., & Quinn, S. (2002). Efficiency of retrieval correlates with "logical" reasoning from causal conditional premises. *Mem Cognit*, 30(5), 696-706.
- Markovits, H., Saelen, C., & Lortie Forgues, H. (2009). An inverse belief-bias effect: more evidence for the role of inhibitory processes in logical reasoning. *Exp Psychol*, 56(2), 112-120. doi: 10.1027/1618-3169.56.2.112
- Markovits, H., & Vachon, R. (1990). Conditional Reasoning, Representation, and Level of Abstraction. *Developmental psychology*, 26(6), 942-951.
- O'Brien, D. P., & Overton, W. F. (1982). Conditional Reasoning and the Competence-Performance Issue: A Developmental Analysis of a Training Task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 34(2), 274-290.
- Oaksford, M., & Chater, N. (2001). The probabilistic approach to human reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 349-357.
- Oaksford, M., Chater, N., & Larkin, J. (2000). Probabilities and polarity biases in conditional inference. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 26(4), 883-899.
- Oberauer, K. (2006). Reasoning with conditionals: a test of formal models of four theories. *Cogn Psychol*, 53(3), 238-283. doi: 10.1016/j.cogpsych.2006.04.001
- Ramsey, F. P. (1931). General Propositions and Causality. In D. H. Mellor (Ed.), *F. P. Ramsey: Philosophical Papers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rips, L. J. (1983). Cognitive Processes in Propositional Reasoning. *Psychological Review*, 90(1), 38-71.
- Rips, L. J. (1994). *The Psychology of Proof: Deductive Reasoning in Human Thinking*: A Bradford book.
- Rumain, B., Connell, J., & Braine, M. D. S. (1983). Conversational comprehension processes are responsible for reasoning fallacies in children as well as adults: if is not the biconditional. *Developmental psychology*, 19, 471-481.
- Schroyens, W., & Schaeken, W. (2003). A critique of Oaksford, Chater, and Larkin's (2000) conditional probability model of conditional reasoning. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 29(1), 140-149; discussion 150-146.

- Simoneau, M., & Markovits, H. (2003). Reasoning with premises that are not empirically true: evidence for the role of inhibition and retrieval. *Dev Psychol*, 39(6), 964-975. doi: 10.1037/0012-1649.39.6.964
- Sternberg, R. J., & Leighton, J. P. (2004). *The Nature of Reasoning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thompson, V. A. (1994). Interpretational factors in conditional reasoning. *Memory & Cognition*, 22(6), 742-758. doi: 10.3758/BF03209259
- Tipper, S. P., & Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *Q J Exp Psychol A*, 37(4), 591-611.
- Vadeboncoeur, I., & Markovits, H. (1999). The Effect of Instructions and Information Retrieval on Accepting the Premises in a Conditional Reasoning Task. *Thinking & Reasoning*, 5(2), 97-113. doi: 10.1080/135467899394011
- Weidenfeld, A., Oberauer, K., & Hornig, R. (2005). Causal and noncausal conditionals: an integrated model of interpretation and reasoning. *Q J Exp Psychol A*, 58(8), 1479-1513.
- Wildman, T. M., & Fletcher, H. J. (1977). Developmental Increases and Decreases in Solutions of Conditional Syllogism Problems (Vol. 77).